



ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Francisco
Sóñora Luna

Tesis doctoral

DESARROLLO DE LAS
CAPACIDADES DE
ARGUMENTACIÓN EN
CIENCIAS DE LA
NATURALEZA Y EDUCACIÓN
AMBIENTAL

Santiago de Compostela, 2022

TESE DE DOUTORAMENTO

**DESARROLLO DE LAS CAPACIDADES
DE ARGUMENTACIÓN EN
CIENCIAS DE LA NATURALEZA
Y EDUCACIÓN AMBIENTAL**

Francisco Sónora Luna

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA.
PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN EDUCACIÓN.

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2022



DECLARACIÓN DO AUTOR DA TESE

D. **Francisco Sóñora Luna**

Título da tese: **“Desenvolvemento das capacidades de argumentación en ciencias da natureza e educación ambiental”**

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De ser o caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.
- 4) A tese é a versión definitiva presentada para a súa defensa e coincide a versión impresa coa presentada en formato electrónico

E comprométome a presentar o Compromiso Documental de Supervisión no caso de que o orixinal non estea na Escola.

En Santiago de Compostela, 20 de decembro de 2022.

Sinatura electrónica





AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR/TUTOR DE LA TESIS

Dña. **Isabel García-Rodeja Gayoso**

En condición de: **Tutor/a y director/a**

Título de la tesis: **“Desarrollo de las capacidades de argumentación en ciencias de la naturaleza y educación ambiental”**

INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por D. **Francisco Sóñora Luna**, bajo mi dirección/tutorización, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En **Santiago de Compostela, 13 de diciembre de 2022**

Firma electrónica



Á miña familia. Por estaren sempre e por sempre aí.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis, la Dra. Isabel García-Rodeja, por su apoyo, confianza en mi trabajo y por su capacidad de guiar mis ideas para plasmarlas en esta tesis.

A la Universidad de Santiago de Compostela, con sus cinco siglos, por proporcionarme toda mi formación universitaria y por acogerme como profesor asociado.

A la Xunta de Galicia por posibilitar mi desarrollo profesional como funcionario docente y por impulsar Climántica en su primer sexenio (2006-2012).

Al Grupo de Investigación de Pedagogía Social y Educación Ambiental (SEPA-interea) por confiar en mí, como investigador del grupo, en la coordinación técnica del proyecto Erasmus+ EDUCINEMA Clima Tour Action -Ref 2020-1-ES01-KA227-SCH-096314 (2021-2023)- y también en la del paquete de trabajo de pedagogía y didáctica del proyecto Erasmus+ e-InnoEduCO₂ -Ref. 2020-1-ES01-KA226-SCH-095765 (2021-2023)-.

Al Campus do Mar de la Universidad de Vigo por acogerme de profesor de secundaria asesor en el desarrollo de los Campus Científicos de Verano de la FECYT desde el 2011 al 2014. También por confiarme la coordinación pedagógica del proyecto financiado por la FECYT Oceántica -Ref. FECYT-2013-6401 (2013-2014)-.

Al IES Virxe do Mar por confiarme la coordinación del proyecto Erasmus+ EduCO₂cean -Ref. 2016-1-PT01-KA201-022952- y por asignarme la coordinación del proyecto de cooperación territorial e innovación educativa Cuatro Climas (2022-2024), financiado por la Secretaría de Estado de Educación.

A la Comunidad Educativa del IES Espiñeira del cuatrienio 2002-2006 por la confianza y el apoyo recibido en esa etapa en la que me correspondió la responsabilidad de la dirección de ese centro educativo de enseñanza secundaria y formación profesional.

A los colegas del equipo Climántica que han puesto en marcha Climántica en el curso 2006-2007, con un plus de agradecimiento a aquellos que están haciendo aportaciones desde entonces hasta la actualidad, como Pedro García y Jose Rodríguez.

A los jóvenes, que después de participar en los campus de Climántica como escolares, ya en sus estudios universitarios, se incorporaron al equipo desde la primera renovación generacional en el campus del CENEAM de 2016. En representación de toda la renovación generacional destaco aquí a Aitor Alonso por poner su talento TIC y saber establecer sinergias entre sus contribuciones al avance del proyecto con su formación para la docencia en secundaria. También un agradecimiento especial a los que se incorporaron con él y que, sin orientar sus carreras a la docencia escolar, siguen haciendo aportaciones continuas, desde sus profesiones actuales: Julieta, Úrsula, Antonio y Fran.

A todos los estudiantes que han participado en el proyecto Climántica y en general a todos los estudiantes a los que tuve el honor de enseñar a lo largo de mi vida profesional docente en Primaria, Secundaria y en la Universidad, y de los que tanto aprendí enseñando.

A mi esposa Viri por su cariño y constante apoyo personal y profesional desde que nos conocimos en los albores de nuestras vocaciones docentes que nos llevaron luego a compartir carreras profesionales docentes y el mejor proyecto vital, la familia Sónora López. A nuestros hijos Fran y Sara por su cariño y por hacerme sentir siempre orgulloso por tanta alegría, felicidad, compromiso y responsabilidad en todo lo que hacen en sus vidas personales y profesionales. A mis padres por su esfuerzo en favor de mi educación y formación. Al resto de la familia por su cariño y apoyo.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos, en especial a los que desde mi juventud me siguen llamando para ilusionarme con viajes y encuentros frecuentes.

Índice

RESUMEN	25
SUMMARY	29
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	33
1.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	34
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	38
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	42
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	45
2.1 EL CONSTRUCTIVISMO COMO TEORÍA DE APRENDIZAJE APLICADA EN LA INVESTIGACIÓN	45
2.1.1 Las teorías constructivistas implicadas en la investigación	46
2.1.1.1 El constructivismo individualista en esta investigación	46
2.1.1.2 La Teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel	47
2.1.1.3 La teoría del "constructivismo sociocultural" de Vygotsky y Bruner	51
2.1.2 Principios constructivistas de intervención implicados en la investigación.	53
2.1.2.1 Principio de actividad	53
2.1.2.2 Principio de comunicación y diálogo	54
2.1.2.3 Principio de significación	55
2.1.2.4 Principio de contextualidad	56
2.1.2.5 Principio de reestructuración o de reorganización conceptual	57
2.1.2.6 Principio de autonomía	59
2.1.3 La argumentación en la enseñanza de las ciencias.....	60
2.1.3.1 La Argumentación como herramienta para promover aprendizajes científicos complejos mediante la interacción social	60
2.1.3.2 El papel de la argumentación en el razonamiento para la comprensión de la complejidad científica.....	62
2.1.3.3 Contribución de las prácticas discursivas a la construcción del conocimiento científico	63
2.1.3.4 La construcción y comunicación de la ciencia a través de debates y discusiones en pequeños grupos	64
2.1.4. Modelos y modelización	65
2.1.4.1 La Teoría de los Modelos Mentales en la Didáctica de las Ciencias	65
2.1.4.2 Desarrollo y evolución de los modelos mentales en los estudiantes de Ciencias	66
2.1.4.3 La modelización en la actualidad de la Didáctica de las Ciencias	68
2.1.4.4 La competencia de modelización desde la Metacognición	69
2.1.4.5 Recursos y estrategias para trabajar la modelización en las aulas.....	71

2.1.4.6 Selección y organización de contenidos para trabajar la modelización en las aulas	72
2.2 CIENCIA SOBRE EL USO Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	73
2.2.1 Influencias mutuas entre el clima y el suelo	73
2.2.2 Influencia del cambio climático sobre el estrés térmico e hídrico del suelo	74
2.2.3 Degradación del suelo por desertificación y cambio climático	75
2.2.4 Efectos de la desertificación y cambio climático sobre la agricultura.....	76
2.2.5 Interacciones del cambio climático y del uso de los fertilizantes en los impactos sobre los ecosistemas y la seguridad alimentaria	77
2.2.6 La urgencia de respuestas a la acción del cambio climático sobre la degradación del suelo	77
2.3 CIENCIAS DEL SUELO Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CURRÍCULO Y EN LA INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS.	78
2.3.1 Las ciencias del suelo en el currículo de la secundaria y en la investigación en Didáctica de las Ciencias	78
2.3.1.1 Las ciencias del suelo en el currículo de la Secundaria	78
2.3.1.2 Las ciencias del suelo en la investigación de la Didáctica de las Ciencias.....	79
2.3.2 Las Ciencias del Cambio Climático en el currículo de la secundaria y en la investigación en Didáctica de las Ciencias	81
2.3.2.1 Las ciencias del cambio en el currículo de la Secundaria.....	81
2.3.2.2 El currículo de cambio climático en la materia Climática de libre configuración	82
2.3.2.3 El cambio climático en la investigación de la Didáctica de las Ciencias	84
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.	97
3.1 LA METODOLOGÍA CUALITATIVA DEL ESTUDIO.....	97
3.2 LOS ESTUDIOS DE CASO DE LA INVESTIGACIÓN	99
3.2.1 La concepción del estudio de casos en esta investigación.....	100
3.2.2 La selección de los casos	101
3.2.3 Definición, descripción y caracterización de los seis casos	102
3.2.3.1 Casos 1 y 2: Ciencias del suelo en la secundaria básica	104
3.2.3.1.1 Escenarios y participantes en los casos relativos a ciencias del suelo.	104
3.2.3.1.2 Particularidades del caso 1	106
3.2.3.1.3 Particularidades metodológicas del caso 2.....	107
3.2.3.2 Casos 3, 4, 5 y 6: Cambio climático en la educación media superior.....	108
3.2.3.2.1 Escenarios y participantes en los casos de ciencias del cambio climático.....	108
3.2.3.2.2 Particularidades metodológicas de los casos 3 y 4.....	111
3.2.3.2.3 Particularidades metodológicas de los casos 5 y 6.....	112
3.3 EL ANÁLISIS DEL DISCURSO EN LOS SEIS CASOS	114

3.3.1 La importancia del análisis del discurso para la tesis.....	114
3.3.2 Método para el análisis del discurso de los seis casos	115
3.3.2.1 Identificación de los eventos de interés definitorios de argumentos	115
3.3.2.2 Categorización de los turnos de intervención y esquemas de Toulmin.....	116
3.3.3 Mapas del discurso como herramienta metodológica general para analizar la colaboración cronológica en la génesis de discurso colectivo para la cognición	119
3.4 ETNOMETODOLOGÍA E INTERACCIONES.....	125
3.4.1 La importancia del análisis etnográfico en el estudio	125
3.4.2 Los observadores “nativos marginales” de este estudio.....	127
3.4.2.1 La entrada en el campo de los observadores en los seis casos	127
3.4.2.2 La planificación de la observación en el campo.....	127
3.4.2.3 Las notas de campo.....	129
3.4 El análisis de las interacciones en la investigación	130
3.4.3.1 La importancia del análisis de las interacciones en esta investigación	130
3.4.3.2 Métodos de análisis de las interacciones en esta investigación.....	131
3.5 ANÁLISIS DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN.....	137
3.5.1 Interés metodológico del proceso de modelización	137
3.5.2 Los métodos de este estudio para analizar la modelización.....	139
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE CASOS.....	147
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 1. <i>INTERACCIONES Y ARGUMENTACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN Y FERTILIDAD DEL SUELO COMO RECURSO NO RENOVABLE</i>	149
4.1.1 Introducción	149
4.1.2 Resultados del análisis de patrones de interacción.	151
4.1.3 Resultados del análisis de la argumentación	154
4.1.3.1 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión.....	154
4.1.3.1.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	154
4.1.3.1.2 Resultados del flujo de discurso	156
4.1.3.1.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles implicaciones en el proceso de modelización.....	158
4.1.3.1.4 Valoración de los modelos co-construidos en relación a la formación del suelo y sus implicaciones didácticas.....	160
4.1.3.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión	161
4.1.3.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	161
4.1.3.2.2 Resultados del flujo de discurso	163
4.1.3.2.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con en el proceso de modelización.	167
4.1.3.2.4 Valoración de los modelos co-construidos e implicaciones didácticas	169
4.1.3.3 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	170
4.1.3.3.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión	171
4.1.3.3.2 Resultados del flujo de discurso	173

4.1.3.3.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con el proceso de modelización.	177
4.1.3.3.4 Valoración de los modelos co-construidos e implicaciones didácticas....	179
4.1.3.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión.....	179
4.1.3.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuarta cuestión	180
4.1.3.4.2 Resultados del flujo de discurso.....	182
4.1.3.4.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con el proceso de modelización.	184
4.1.3.4.4 Valoración de los modelos co-construidos e implicaciones didácticas....	187
4.1.4 Discusión conjunta y conclusiones del caso 1.....	187
4.1.5 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación.....	193
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 2: ARGUMENTACIÓN Y MODELIZACIÓN SOBRE LA RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL SUELO CON SUS RESPUESTAS A SEQUÍAS E INUNDACIONES DERIVADAS DE EVENTOS EXTREMOS.	195
4.2.1 Introducción.....	195
4.2.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión.....	196
4.2.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	196
4.2.2.2 Mapa del discurso de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	197
4.2.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la primera cuestión.....	198
4.2.2.4 Proceso de modelización de la argumentación para responder a la primera cuestión y valoración de la validez del modelo.	200
4.2.3 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión.....	201
4.2.3.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	201
4.2.3.1.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2 por parte del grupo de trabajo de cuatro miembros.....	201
4.2.3.1.2 Categorización de la argumentación de la puesta en común de la respuesta a la cuestión 2 para obtener un argumento consensuado.....	204
4.2.3.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2	206
4.2.3.2.1 Mapa del discurso de la respuesta del grupo a la cuestión 2	206
4.2.3.2.2 Mapa del discurso de la puesta en común sobre respuestas a la cuestión 2	208
4.2.3.3 Esquema de Toulmin y valoración de los argumentos contenidos en el discurso de respuesta a la cuestión 2 del segundo caso.....	209
4.2.3.3.1 Argumento relativo a la formación de grietas en la respuesta a la cuestión 2.....	210
4.2.3.3.2 Argumento relativo al encharcamiento en la respuesta a la cuestión 2 ..	211
4.2.3.3.3 Valoración de los argumentos incluidos en el discurso de la cuestión 2.	212
4.2.3.4 Proceso de modelización para explicar el encharcamiento y posterior agrietamiento cuando secan los suelos arcillosos, representación infográfica y valoración de los modelos.....	213

4.2.3.4.1 Representación gráfica y valoración del modelo macroscópico incoherente.....	216
4.2.3.4.2 Representación gráfica y valoración del modelo microscópico incoherente.	217
4.2.3.4.3 Representación gráfica y valoración del modelo microscópico coherente.	218
4.2.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la diferencia de la filtración en las tres muestras de la práctica.....	219
4.2.4.1 Categorización de la argumentación sobre la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo	220
4.2.4.2 Mapa del discurso de la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo.....	221
4.2.4.3 Argumentación en la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo y valoración del grado de validez de lo argumentado.....	222
4.2.4.4 Modelización en la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo y valoración del grado de validez del modelo	224
4.2.5 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la comparación de colores en el agua filtrada en la práctica	224
4.2.5.1 Categorización del discurso sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	225
4.2.5.1.1 Categorización de la argumentación del grupo de trabajo sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	225
4.2.5.1.2 Categorización de la argumentación en la puesta en común sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	229
4.2.5.2 Mapa del discurso sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	232
4.2.5.2.1 Mapa del discurso del grupo de trabajo sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	232
4.2.5.2.2 Mapa del discurso de la puesta en común sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada	234
4.2.5.3 Esquema de los argumentos y valoración de los argumentos contenidos en el discurso sobre las respuestas a la tercera cuestión de este caso.	237
4.2.5.3.1 Esquemas de Toulmin y valoración de los argumentos del equipo que responden sobre las posibles relaciones entre el color del agua que se filtró con la retención	237
4.2.5.3.2 Esquema de Toulmin y valoración del argumento relativo al discurso de la puesta en común de argumentos de diferentes equipos de trabajo sobre la práctica de laboratorio	240
4.2.5.4 Modelización y valoración en el grupo pequeño y expresados en la puesta en común.	241

4.2.5.4.1 Modelización y valoración de su validez en el discurso del grupo pequeño buscando interpretar las posibles relaciones entre el color del agua que se filtró con la retención.....	241
4.2.5.4.2 Modelización y su valoración en el discurso de la puesta en común de argumentos de diferentes equipos de trabajo sobre la práctica de laboratorio	242
4.2.6 Discusión y Conclusiones conjuntas del caso 2 con sus Implicaciones didáctica para la educación científica básica de las relaciones Cambio Climático–Suelo	246
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 3: ARGUMENTACIÓN DE UN GRUPO CLASE DE 1º DE BACHILLERATO (16-17 AÑOS) DE LA MODALIDAD CIENTÍFICO – TECNOLÓGICA CONDUCTA POR EL DOCENTE.....	252
4.3.1 Introducción	252
4.3.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión.....	255
4.3.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	255
4.3.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1	256
4.3.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1	257
4.3.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión.....	258
4.3.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión	261
4.3.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	261
4.3.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión.....	262
4.3.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2	264
4.3.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión	264
4.3.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	267
4.3.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3	267
4.3.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3.....	268
4.3.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3	268
4.3.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	269
4.3.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	272
4.3.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4	272
4.3.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4.....	274
4.3.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4	276
4.3.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	277
4.3.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión	279
4.3.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5	279
4.3.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5.....	280
4.3.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión	282
4.3.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión	284
4.3.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6	284

4.3.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6	284
4.3.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6...	285
4.3.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión	286
4.3.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7	288
4.3.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7	289
4.3.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión número 7	290
4.3.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión	291
4.3.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión	293
4.3.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 8	293
4.3.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 8	294
4.3.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 8...	296
4.3.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión	297
4.3.18 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión	299
4.3.18.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9	299
4.3.18.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9	300
4.3.18.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9...	303
4.3.19 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión	303
4.3.20 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la décima cuestión	305
4.3.20.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 10	305
4.3.20.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 10	307
4.3.20.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 10	309
4.3.21 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la décima cuestión	310
4.3.22 Discusión conjunta y conclusiones del caso 3	312
4.3.23 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación.....	315
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 4: ARGUMENTACIÓN DE UN GRUPO CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD DE HUMANIDADES Y CC. SOCIALES CONDUCTA POR EL DOCENTE.....	318
4.4.1 Introducción	318
4.4.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión	320
4.4.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	320
4.4.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1.....	321
4.4.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1	322
4.4.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión	323
4.4.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión.....	326

4.4.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	326
4.4.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2	326
4.4.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2	327
4.4.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión	328
4.4.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	329
4.4.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3	329
4.4.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3.....	329
4.4.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3	330
4.4.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	331
4.4.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	332
4.4.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4	332
4.4.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4.....	333
4.4.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4	334
4.4.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	335
4.4.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión	336
4.4.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5	336
4.4.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5.....	336
4.4.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5 ..	337
4.4.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión	338
4.4.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión	340
4.4.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6	340
4.4.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6.....	340
4.4.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6 ..	341
4.4.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión.....	342
4.4.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión.....	343
4.4.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7	343
4.4.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7.....	344
4.4.14.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 7 ..	347
4.4.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión.....	347
4.4.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión (el docente saltó la octava por falta de tiempo).....	349
4.4.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9	349
4.4.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9.....	351
4.4.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9 ..	352
4.4.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión.....	352

4.4.18	Discusión y conclusiones sobre el conjunto del discurso del caso 4	355
4.4.18.1	Discusión y conclusiones derivadas de la respuesta a la primera sub-pregunta particularista del caso 4:	355
4.4.18.2	Discusión y conclusiones derivadas de la respuesta a la segunda sub-pregunta particularista del caso 4	356
4.4.19	Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación.....	358
4.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 5: ARGUMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE 6 ESTUDIANTES DE LA CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA SIN INTERVENCIÓN DOCENTE	360
4.5.1	Introducción	360
4.5.2	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión	362
4.5.2.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	362
4.5.2.2	Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1.....	363
4.5.2.3	Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1	364
4.5.3	Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión	364
4.5.4	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión.....	366
4.5.4.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	366
4.5.4.2	Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2.....	367
4.5.4.3	Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2	368
4.5.5	Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión.....	368
4.5.6	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión.....	371
4.5.6.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3	371
4.5.6.2	Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3	372
4.5.6.3	Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3	373
4.5.7	Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión.....	373
4.5.8	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	375
4.5.8.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4	375
4.5.8.2	Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4	376
4.5.8.3	Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4	376
4.5.9	Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	377
4.5.10	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión.....	379
4.5.10.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5	379
4.5.10.3	Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5	381
4.5.11	Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión	382
4.5.12	Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión.....	383
4.5.12.1	Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6	383

4.5.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6.....	384
4.5.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6 ..	385
4.5.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión.....	386
4.5.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión.....	387
4.5.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7	387
4.5.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6.....	388
4.5.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 7 ..	389
4.3.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión.....	390
4.5.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión.....	392
4.5.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 8	392
4.5.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 8.....	392
4.5.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 8 ..	393
4.3.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión.....	394
4.5.18 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión.....	395
4.5.18.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9	395
4.5.18.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9.....	396
4.5.18.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9 ..	396
4.5.19 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión.....	397
4.1.20 Discusión conjunta y conclusiones del caso 5.....	399
4.1.23 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación	402
4.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 6: ARGUMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE 6 ESTUDIANTES DE LA CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES SIN INTERVENCIÓN DOCENTE.....	402
4.6.1 Introducción.....	402
4.6.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión.....	405
4.6.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1	405
4.6.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1	405
4.6.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1	406
4.6.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión.....	407
4.6.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión	408
4.6.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2	408
4.6.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2	409
4.6.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2	410
4.6.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión.....	411
4.6.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión	412

4.6.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3	412
4.6.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3	413
4.6.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3	414
4.6.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión.....	415
4.6.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión	416
4.6.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4.....	416
4.6.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4	417
4.6.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4	418
4.6.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión.....	419
4.6.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión.....	421
4.6.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5	421
4.6.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5	422
4.6.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5 ...	422
4.6.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión.....	423
4.6.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión.....	425
4.6.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6	425
4.6.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6	425
4.6.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6 ...	426
4.6.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7	428
4.6.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión	429
4.4.18 Discusión conjunta y conclusiones e implicaciones didácticas	430
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL	435
5.1 INTRODUCCIÓN	435
5.2 DISCUSIÓN SOBRE FERTILIDAD DEL SUELO EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA BÁSICA. ...	437
5.2.1 Argumentación y modelización sobre fertilidad y no renovabilidad tomando como referencia la formación del suelo	438
5.2.2 Argumentación y modelización sobre los impactos de fenómenos extremos en la fertilidad del suelo	441
5.3 DISCUSIÓN SOBRE LAS CIENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO CON UN ENFOQUE TRANSVERSAL EN MODALIDADES DIFERENTES DE 1º DE BACHILLERATO	445
5.3.1 Discusión comparativa sobre la intervención docente en los coloquios dirigidos a las dos modalidades.....	446
5.3.2 Retención en el tiempo de la argumentación y la modelización en estudiantes de la modalidad científico – tecnológica	452
5.3.3 Retención en el tiempo de la argumentación y la modelización en estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.....	458

5.3.4 Comparación de la influencia de la modalidad en la retención de las estrategias de argumentación y modelización	462
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS.....	467
6.1 INTRODUCCIÓN	467
6.1.1. Relación de las conclusiones con la primera pregunta de investigación (PI1) y objetivo O1	467
6.1.2. Relación de las conclusiones con la segunda pregunta de investigación (PI2) y objetivos O2 y O3	468
6.1.3. Relación de las conclusiones con la tercera pregunta de investigación (PI3) y objetivos O4 y O5	468
6.2 CONCLUSIONES	470
6.2.1 Conclusiones obtenidas de los resultados que dan respuesta a la PI1	470
6.2.1.1 Conclusiones con mayor peso en los procesos de interacción	470
6.2.1.2 Conclusiones con mayor peso en argumentos y modelos	471
6.2.2 Conclusiones obtenidas de las respuestas a la PI2.....	473
6.2.3 Conclusiones obtenidas de las respuestas a la PI3.....	477
6.2.3.1 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 1 (SPCC1)	477
6.2.3.2 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 2 (SPCC2)	480
6.2.3.3 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 3	482
6.3 IMPLICACIONES EDUCATIVAS	484
6.3.1 Implicaciones educativas sobre las conclusiones relacionadas con O1 (de C1 a C9)	484
6.3.2 Implicaciones educativas sobre las conclusiones relacionadas con O2, O3, O4 y O5 (de C10 a C32).....	485
6.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	488
BIBLIOGRAFÍA	491
ANEXOS	511
ANEXO I: Unidad didáctica ‘Dez mil anos nun centímetro’	513
ANEXO II: exposición didáctica del proyecto Climántica sobre Cambio Climático	548

RESUMEN

Esta tesis que lleva por título *“Desarrollo de las capacidades de argumentación en ciencias de la naturaleza y educación ambiental”* tiene por finalidad *conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos cuando están implicados en distintas actividades de argumentación relacionadas con temáticas medioambientales, relativas a las ciencias del suelo y al cambio climático, en diferentes escenarios*. Esta finalidad se orienta a realizar contribuciones que faciliten que las ciencias de la naturaleza incorporen una línea transversal de educación ambiental para introducir en los currículos de enseñanza secundaria temáticas sobre el cambio climático, el uso sostenible del suelo y las implicaciones del cambio climático en la fertilidad.

La metodología de investigación se encuadrada en la investigación cualitativa basada en seis estudios de caso (Stenhouse, 1990). Se optó por un estudio de casos múltiples (Stake, 1998) que queda representado por los seis casos definidos para que, en su conjunto, permitan completar las respuestas a las preguntas de investigación principales. Los seis casos tienen en común los aspectos generales compartidos que se centran en tres grandes dimensiones: 1) análisis de la interacción; 2) la construcción de argumentos y 3) la activación y modificación de los modelos de los estudiantes.

Dos casos tienen que ver con la aplicación de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo en 3º de ESO (14-15 años). Uno incluye como elemento singular el análisis de las interacciones entre los componentes de un grupo de trabajo y de estos con el docente. El segundo se centra en la ontología de un modelo que parte de representaciones alternativas y que evoluciona hasta la consecución de una mayor coherencia con la ciencia escolar.

Los otros cuatro estudios de caso se centran en el análisis del discurso entre estudiantes y docentes después de una visita a una exposición sobre el cambio climático. Los participantes son dos grupos de clase de 1º de Bachillerato (16-17 años), uno de la modalidad de científico-tecnológica y otro de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Dos de estos casos tienen como contexto las sesiones de explicaciones de la exposición por el mismo profesor en dos grupos de dos modalidades diferentes, seguidas de sus correspondientes coloquios. La singularidad de estos dos casos, en los que el mismo docente dirige dos coloquios a dos grupos de clase diferentes, permite comparar el discurso en dos modalidades diferentes de bachillerato: modalidad científico-tecnológica y modalidad de humanidades y ciencias sociales. Los otros dos estudios de caso sobre cambio climático en bachillerato se desarrollan

tres meses después de los coloquios dirigidos por el docente. En cada uno ellos participan un grupo de seis estudiantes voluntarios de cada uno de los grupos clase. Con estos casos se pretende analizar la retención cognitiva a través del análisis de la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses después, al compararlos con los argumentos contruidos por los mismos estudiantes tres meses antes en el coloquio con el docente. Además, se pretende analizar las diferencias entre los argumentos y modelos contruidos por los estudiantes de las dos modalidades.

La recogida de datos se realizó mediante la grabación de las clases con la organización e inspección in situ de al menos un observador nativo marginal. Se analizaron los patrones discursivos de la argumentación (Hogan et al. 2000) y los argumentos mediante el esquema de Toulmin (1958), adaptado en base a diferentes propuestas hechas para el análisis del discurso en clase (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993). La validez de los argumentos se valoró mediante una rúbrica de elaboración propia (tabla 3.1). También se buscó describir los tipos de interacción que se producen entre los participantes en la co-construcción de argumentos (Hogan et al. 2000) y los procesos de modelización y los modelos contruidos por parte del alumnado de secundaria. Para la valoración de los modelos contruidos se diseñó un diagrama de flujo (figura 3.10) inspirado en los trabajos de Gutierrez (2004) y Justi (2006). La validez de los modelos se valoró mediante una rúbrica de elaboración propia (tabla 3.2).

Los resultados de los casos 1 y 2 muestran que las interacciones en la co-construcción de argumentos modifican los roles tradicionales escolares, situando al docente como dinamizador y coordinador de la argumentación de los equipos de trabajo, alentando a los estudiantes a razonar y discutir a favor de la construcción de argumentos. Ese rol facilitó que los estudiantes expresaran sus ideas con mayor libertad, revisándolas para enfrentar mejor los desafíos y co-construir argumentos a favor de conseguir evoluciones en los modelos mentales iniciales de los estudiantes hacia una mayor profundidad en la representación. De esta forma se avanzó mediante aportaciones de todos al discurso que suscitan el acuerdo, aunque las aportaciones sustantivas suelen venir de uno o de dos estudiantes. En ese proceso de modelización desarrollado en la co-construcción de argumentos, los estudiantes establecen conexiones entre el contenido de la tarea y sus conocimientos cotidianos, en especial en aquellos que forman parte de las actividades de los lugares donde viven, como en el caso del uso de fertilizantes. Esos procesos de modelización pueden no dar lugar a evoluciones significativos en los modelos mentales iniciales de los estudiantes, pero también se encontró ontologías de modelos que parten de ideas y representaciones sensoriales incoherentes, a los que el esfuerzo compartido del grupo, con su co-argumentación, logra llegar a conseguir una evolución de esos modelos hacia los modelos de la ciencia escolar necesarios para interpretar las consecuencias del cambio climático sobre la fertilidad del suelo. Un buen ejemplo de esto es lo que ocurre con la ontología del modelo microscópico de la estructura del suelo que se muestra valioso para interpretar las consecuencias de los fenómenos extremos de precipitaciones y sequías sobre los suelos arcillosos. Se encontró también que la argumentación y la modelización en el grupo de ciencias sociales es de mayor calidad que en

el grupo de la modalidad científico – tecnológica en aspectos relacionados con la forma de interpretar la elevación de la temperatura y en la relación entre lo global y lo particular, que requiere analizar los posibles efectos del deshielo en el polo Norte a nivel local. Así mismo se encontró que en los argumentos y modelos que demandan conocimientos básicos más específicos de la ciencia escolar, como pueden ser la fotosíntesis, la fosilización o las combustiones se alcanza mayores niveles de desempeño en la argumentación y la modelización en estudiantes de la modalidad científico-tecnológica. Al mismo tiempo aparecen ideas alternativas y dificultades de aprendizaje que son independientes del grado de especialización que supone la modalidad de Bachillerato. Un ejemplo de esto es el caso de la dificultad que se visualiza en las dos especializaciones para contemplar la influencia de la dilatación térmica en la subida del mar o también las ideas alternativas de los dos grandes problemas ambientales globales: cambio climático y agujero de la capa de ozono. En relación a el grado de retención cognitiva que se analiza a través del análisis de la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses después del coloquio con el profesor sobre la exposición, se encontró que los estudiantes de la modalidad científico-tecnológico presentan un mayor grado de retención cognitiva hasta el punto de que logran mejorar incluso las que manifestó su grupo clase tres meses antes.

En base a los resultados y conclusiones se han extraído diez implicaciones educativas relativas al desarrollo curricular, desde la educación ambiental, el cambio climático y sus relaciones con otras dimensiones transversales como la sostenibilidad del uso del uso del suelo. Uno de esos ámbitos tiene que ver con el desarrollo de capacidades argumentativas que permitan a los escolares de secundaria desarrollar habilidades y construir conocimientos para participar de forma activa y fundamentada de los debates relativos a los retos a los que debemos de enfrentarnos sobre cambio climático y degradación del suelo. Otro ámbito es el de proponer actividades que favorezcan la modelización en estas nuevas formas de aprender y enseñar que demanda el cambio climático. Se concluye esta enumeración de las implicaciones educativas con propuestas para desarrollar andamiajes transversales entre las ciencias naturales y las ciencias sociales como vía estratégica para la transposición de las ideas estructurantes del cambio climático de los informes del IPCC al currículo de secundaria que facilite las nuevas formas de aprender y enseñar sobre el cambio climático. Por último, se señalan las limitaciones del trabajo y posibles líneas de investigación que se pueden derivar desde la innovación educativa del sector escolar de Erasmus+, pero también desde convocatorias de innovación de la Administración del Estado y de las Comunidades Autónomas.

Palabras clave: *cambio climático, ciencias del suelo, argumentación, modelización, interdisciplinaridad, ciencia escolar.*

SUMMARY

The present thesis is titled *“Development of Argumentation Capacities in Natural Sciences and Environmental Education”*. It aims to understand how students develop their capacity to elaborate arguments and models when they are involved in different argumentation activities related to the environment, soil science and climate change throughout different scenarios. Such purpose is intended to develop valuable contributions in the field of Natural Sciences Education, incorporating a transversal line of Environmental Education and thusly introducing in the syllabus of Compulsory Secondary Education (CSE) different topics regarding climate change, the sustainable use of the soil and the implications of climate change in terms of soil fertility.

The research methodology falls within the qualitative research, basing its development in a total of six case studies (Stenhouse, 1990). A multiple-case study approach (Stake, 1998) was chosen in order to globally be able to answer the main proposed research questions. These six case studies share different main aspects which can be defined under the umbrella of the following dimensions: 1) analysis of interaction; 2) argument building and 3) activation and modification of students' mental models.

Two of these cases are related to the application of a didactic unit on soil sciences in the third year of CSE (14-15 years old). One of them includes as a singular element the analysis of interactions between the components of the group and also between them and the teacher. The particularity relies on the ontology of a model which begins with alternative representations and evolves until achieving a greater coherence with school science.

The remaining four case studies focus on the analysis of the discourse between students and teachers after visiting an exposition about climate change. Participants are two groups of first year high school students (16-17 years old), one from the scientific-technological modality and another one from the modality of humanities and social sciences. Two of these cases present background sessions conducted by the same teacher in order to explain the exposition to the two groups from the different modalities, followed by the corresponding colloquium. The singularity of these cases, in which the same teacher leads the discussion in two different groups allows us to compare the discourse in the said different modalities. The remaining two cases are developed three months later after the initial colloquiums which had been leaded by the teacher. In each of them, a group of six volunteer students take part for each class. With these cases, the cognitive retention is studied throughout the analysis of the

arguments and models' validity which had been built three months before in the colloquium with the teacher. In addition, it is intended to analyse the differences between the arguments and models used by the students in each modality.

The collection of data was carried out throughout the recording of the classes with the organization and in-situ inspection of, at least, one native marginal observer. Discursive patterns of argumentation (Hogan et al. 2000) and arguments were analysed using Toulmin's scheme (1958), adapted considering different proposals developed for the analysis of the discourse in class (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo and Girardert, 1993). The validity of the arguments was assessed through a rubric created by the author of the present thesis (table 3.1). It is also aimed to describe the types of interaction which took place between the participants in the co-construction of arguments (Hogan et al. 2000), as well as the modelling processes and models built by secondary school students. For the evaluation of the built models, a flowchart was designed (figure 3.10) inspired by the work of Gutierrez (2004) and Justi (2006). The evaluation of the models ended with the reference standards of a self-elaborated rubric (table 3.2).

Results from cases 1 and 2 show that interactions in the co-construction of arguments modify traditional school roles, placing the teacher as a guide and encouraging students to reason and discuss in favour of the construction of arguments. This role facilitated students to express their ideas with greater freedom, revising them to better face challenges and co-construct arguments in favour of achieving evolutions in the students' initial mental models towards greater depth in representation. In this way, progress was made through everyone's contributions to the discourse that elicited agreement, albeit substantive contributions used to come from one or two students.

In the developed modelling process under the co-construction of arguments, students establish connections between the content of the task and their everyday knowledge, especially those which are part of the activities from the places where they live, as in the case of the use of fertilizers. These modelling processes may not lead to significant evolutions in the students' initial mental models, but we also found ontologies of models that start from incoherent ideas and representations of sensory origin, which thanks to the shared effort of the group, with its co-argumentation, managed to achieve an evolution towards the models of school science which are necessary to interpret the consequences of climate change on soil fertility. A good example of this is what happens with the ontology of the microscopic model of soil structure that proves to be valuable for interpreting the consequences of extreme precipitation and drought events on clay soils. It was also found that the argumentation and modelling in the social sciences group presents a higher quality than in the scientific-technological group in aspects related to the way of interpreting temperature rise and in the relationship between the global and the particular which requires analysing the possible effects of the North Pole ice melting at a local level. It was also found that in the arguments and models that demand more specific basic knowledge of school science, such as photosynthesis, fossilization or combustion, higher levels of performance in argumentation

and modelling are reached in students of the scientific-technological modality. At the same time, alternative ideas and learning difficulties appear independently of the degree of specialization implied by the studies' modality. An example of this is the difficulty which both modalities showed to understand the influence of thermal expansion on sea level rise or the alternative ideas regarding two great global environmental problems: climate change and the depletion of the ozone layer. In relation to the degree of cognitive retention, which is studied through the analysis of the validity of the arguments and models constructed three months after the discussion with the teacher, it was found that the students of the scientific-technological modality present a higher degree of cognitive retention to the point that they manage to even improve those arguments that their class group showed three months before.

According to the obtained results and conclusions, ten educational implications related to curricular development have been extracted, addressing the fields of environmental education, climate change and its relationships with other transversal dimensions such as the sustainability of land use. One of these areas is linked to the development of argumentative capacities which allow secondary school students to develop skills and build knowledge in order to actively participate in debates related to the challenges we must face regarding climate change and land degradation. Another area focuses on proposing activities that favour modelling under the new ways of learning and teaching which climate change demands. The said enumeration of the educational implications is concluded with proposals to develop transversal scaffolding between the natural sciences and social sciences as a strategic way to transpose the structuring ideas of IPCC's reports to the secondary school curriculum. Finally, limitations of the present work are pointed out together with possible future lines of research which can be derived from the educational innovation of the Erasmus+ school sector, as well as from calls for innovation from the State Administration and the Autonomous Communities.

Keywords: *climate change, soil sciences, argumentation, modelling, interdisciplinarity, school science.*

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Esta tesis que lleva por título *“Desarrollo de las capacidades de argumentación en ciencias de la naturaleza y educación ambiental”* tiene por finalidad *conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos cuando están implicados en distintas actividades de argumentación relacionadas con temáticas medioambientales en diferentes escenarios*. Para alcanzar esta finalidad se analiza el discurso de los estudiantes, en concreto analizamos los patrones discursivos, los tipos de interacción en la construcción de argumentos y los modelos construidos por parte del alumnado de secundaria. El estudio adopta una metodología cualitativa enmarcada en seis estudios de caso. Los participantes son estudiantes de 3º de ESO y de 1º de Bachillerato. En los seis estudios de caso se analizan y valoran los argumentos construidos colaborativamente a través del discurso oral, el flujo de este discurso, y los modelos desarrollados con esa argumentación. Pero todos ellos tienen elementos particulares que le dan identidad de estudio de caso, que desde esa singularidad también contribuyen al conjunto de la investigación.

Dos casos tienen que ver con la aplicación de una unidad didáctica en 3º de ESO. Uno incluye como elementos singulares el análisis de las interacciones entre los cuatro componentes del grupo pequeño de trabajo y de estos con el docente. El otro se centra, en sus aspectos singulares, en la ontología de un modelo que parte de representaciones incoherentes y que evoluciona hasta la consecución de un modelo coherente de interés para la ciencia escolar.

Los otros cuatro estudios de caso tienen que ver con la explicación de un profesor de una exposición de cambio climático y el posterior coloquio sobre la exposición en el aula, siendo el discurso del coloquio lo que se estudia. Los participantes son dos grupos de clase de 1º de Bachillerato, uno de la modalidad de científico-tecnológica y otro de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Estas sesiones de explicaciones de la exposición, seguidas de sus correspondientes coloquios, dieron lugar a dos de los cuatro estudios de caso. Las singularidades de los casos tercero y cuarto, en los que el mismo docente dirige dos coloquios a dos grupos, radica en esta modalidad de intervención docente y en las dos modalidades diferentes de bachillerato que cursan cada grupo de clase: modalidad científico-tecnológica y modalidad de humanidades y ciencias sociales. Los otros dos estudios de caso sobre cambio climático en bachillerato (quinto y sexto) se desarrollan tres meses después de los coloquios dirigidos por el docente, cada uno con un equipo de seis estudiantes voluntarios de cada uno de los grupos clase, y en ellas no participa ningún docente ni se usa ningún material de apoyo.

Los seis casos tienen en común los aspectos generales compartidos que se centran en tres grandes dimensiones: 1) análisis de la interacción; 2) la construcción de argumentos y 3) la activación y modificación de los modelos de los estudiantes. Con ese enfoque, este estudio relaciona la investigación sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias del suelo, un tema

curricular consolidado en ciencias de la naturaleza de la secundaria básica española, con el cambio climático. Esa orientación despertó el interés por las conexiones del suelo con el cambio climático, un reto que se incluye como paradigma científico en el 2007 con el informe IPCC de ese año que otorga a la influencia humana una probabilidad superior al 90% (IPCC-WGI, 2007). Desde entonces fue tomando cada vez más fuerza la preocupación sobre las consecuencias que puede tener para la seguridad alimentaria mundial los efectos del cambio climático sobre la fertilidad del suelo, y eso motivó que el IPCC emitiera el 7 de agosto de 2019 un informe con investigaciones científicas sobre las relaciones del cambio climático y la fertilidad del suelo.

En lo relativo a las ciencias del suelo (estudios de caso 1 y 2), se analiza el desarrollo de estrategias de argumentación y modelización sobre la formación, estructura del suelo y su relación con la fertilidad, apoyándose en una unidad didáctica (anexo I) diseñada para ser desarrollada mediante la argumentación en equipos pequeños de trabajo, siendo el rol del docente atender dudas de todos los pequeños equipos de trabajo. Se necesitan estos conocimientos para que los estudiantes puedan sensibilizarse y comprometerse con el mejor uso sostenible del suelo, con una especial atención a las dimensiones ecológicas y de seguridad alimentaria. Como en los otros cuatro casos, se busca analizar las capacidades de argumentación y modelización.

Para los cuatro estudios de caso sobre cambio climático el docente seleccionó nueve preguntas entre las que formaban parte de la exposición sobre cambio climático del proyecto Climántica (anexo II). Esas preguntas dieron lugar a los coloquios conducidos por el docente inmediatamente después de finalizar la explicación del docente de los ocho paneles de la exposición en los dos grupos de clases de las dos modalidades (estudios de caso 3 y 4), para tomar así en consideración la variable de la especialidad. Tres meses después, dos equipos de seis estudiantes voluntarios, uno de cada modalidad (estudios de caso 5 y 6), responden a las mismas cuestiones, pero sin la participación del docente.

1.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

El recorrido en la búsqueda de los primeros antecedentes de estudio nos lleva a los albores de la Didáctica de las Ciencias a finales de la década de los setenta del siglo pasado, con los pioneros en investigar en esta área desde el marco constructivista. Desde esta óptica de enfoque de los procesos de enseñanza y aprendizaje se criticaba la adquisición de conocimientos científicos como mera transmisión entre experto y aprendiz, para sustituirlo por un modelo de aprendizaje de las ciencias en el que los estudiantes adquieren los conocimientos mediante un trabajo autónomo. Trabajos como Driver y Easley (1978) apostaron por soluciones constructivistas para hacer frente a los pobres resultados proporcionados por las estrategias de transmisión/recepción de conocimientos. Los investigadores sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias de aquella época dieron diferentes nombres a los avances en el aprendizaje de las ciencias. En este contexto adquieren relevancia enfoques alternativos a la transmisión/recepción como el aprendizaje generativo (Osborne y Wittrock, 1983) y el aprendizaje por construcción de conocimientos (Resnick et al., 1993).

Los inicios de los ochenta traen influencias externas a la Didáctica de las Ciencias que son importantes para esta disciplina y para la inspiración del enfoque de esta tesis. Una es la

teoría de modelos de Johnson–Laird (1983) y otra tiene que ver con la importancia del lenguaje en el desarrollo de andamiajes que facilitan la argumentación y que introduce Bruner (1884). La buena aceptación que tuvieron en la Didáctica de las Ciencias los planteamientos teóricos de estos pensadores tiene bastante repercusión en el hecho de que se conozca a esta década como la del consenso constructivista en la Didáctica de las Ciencias. En la asimilación en el área de estas aportaciones relacionadas con el constructivismo social tuvieron especial importancia las aportaciones de expertos en la enseñanza de las ciencias como Resnick (1983) o Novak (1988), especialmente este último, que después de sus relaciones con Ausubel se decide a tener una estancia de formación como investigador con Bruner.

Entre los antecedentes de esta tesis de los años noventa hay que destacar las aportaciones de Hodson (1993). De los estudios de este investigador se obtuvo la inspiración para situar a los estudiantes en una situación por la que los científicos habitualmente pasan durante su formación, que consiste en enfrentar a estudios ya realizadas por otros, con un enfoque didáctico de indagación, usando como herramienta la argumentación que es propia de la construcción de los conocimientos científicos. Los estudiantes se enfrentan así a problemas que para ellos son nuevos, pero cuya solución y su forma de alcanzarla es bien conocida por quienes le proponen los problemas y dirigen su trabajo para su resolución.

En los años noventa también se sitúan antecedentes muy relevantes para esta tesis por ser la década en la que se extiende a la Didáctica de las Ciencias el análisis del discurso. De hecho, la base metodológica de esta investigación toma como punto de partida principios de diseño de SEPIA (Duschl y Gitomer, 1996), dentro del proyecto RODA (Jiménez, 1998). De esos proyectos proceden las categorías y las representaciones de los argumentos. Para la categorización de las intervenciones en la argumentación se tomaron adaptaciones al esquema de Toulmin (1958) que surgieron en aquella del análisis del discurso en clase (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999). Posteriormente aparecen las categorías y representaciones usadas para describir e interpretar el flujo del discurso (Hogan et al., 2000), con los patrones para el análisis metodológico de las interacciones entre compañeros y con el profesor. Del final de los noventa proceden los sistemas para interpretar las interacciones usadas en esta tesis para generar aportaciones de los estudiantes, y su participación en el flujo del discurso en pequeño grupo y gran grupo (Newton et al., 1999).

De la primera década del siglo XXI tiene incidencia en la tesis la orientación de las investigaciones en argumentación hacia cuestiones epistémicas que son relevantes en el análisis de los argumentos y modelos implicados en esta tesis. Entre estas influencias epistémicas en la tesis tiene un papel destacado el principio de que para aprender ciencias es preciso participar en los objetivos epistémicos de la ciencia (Duschl, 2008). En esta época se extendió la idea de que era importante implicar a los estudiantes en procesos de argumentación e indagación, siguiendo el enfoque que lleva a la evaluación de la validez de la construcción de los modelos (Kelly, 2008). El enfoque de la tesis de desarrollar la argumentación como una práctica científica compleja, que conlleva procesos de modelización que influye en los modelos de ciencia escolar, tiene en este enfoque epistémico de esta etapa un referente. En este sentido hay que destacar el acento que se pone en la argumentación para la evaluación del conocimiento, organizando de forma coordinada las pruebas disponibles con sus conexiones con la teoría relevante a considerar en las modelizaciones (Jiménez-Aleixandre y Erdurán, 2007). Un rasgo que define las prácticas científicas es la actividad, entendida como mental y discursiva, no solo experimental: más que “aprender” lo que son, el

alumnado debe tomar parte en ellas, indagando, construyendo, usando y revisando modelos mediante la argumentación.

En esta primera década del siglo XXI aparece en la ciencia el paradigma clave para visualizar el interés de orientar el estudio de las ciencias del suelo, bajo un enfoque transversal de la educación ambiental hacia el cambio climático. En el año 2007 la ciencia supera definitivamente las controversias sobre el cambio climático, asignando la certidumbre de la responsabilidad humana en el aumento de la temperatura global en más de un noventa por ciento (IPCC-WGI, 2007). Es ese año cuando surge el proyecto Climántica que inicia su introducción en el sistema educativo gallego en esta primera década de este siglo (Sóñora, 2007), y que se expande a la mayoría de las comunidades autónomas y se introduce en otros sistemas educativos en la década siguiente.

En la segunda década del siglo XXI se consolidan los estudios de la argumentación en los procesos de modelización, un objeto de estudio relevante para esta tesis. Esta línea de trabajo se fue configurando a finales del siglo pasado a través de estudios de Didáctica de las Ciencias en sus fronteras con la Psicología Cognitiva, cuando empezaron a tener fuerza estos estudios de frontera sobre las representaciones mentales de los modelos científicos que los estudiantes generan para interpretar un conjunto de fenómenos (Pozo y Gómez Crespo, 1998). La visión de la teoría de modelos desde la Didáctica de las Ciencias en esta segunda década del siglo XXI, que se adopta para esta tesis, entiende los modelos como entidades dinámicas que los estudiantes pueden usar para explicitar y reflexionar sobre experiencias y evidencias, utilizando para esas explicaciones e interpretaciones mecanismos e información científica adicional de apoyo (Acher, 2014), posibilitando ese uso la propia evolución de los modelos iniciales. Del desarrollo de la modelización, se siguió el principio de que para modelizar los estudiantes debían desarrollar capacidades de argumentación orientadas a explicar fenómenos, procesos, formular hipótesis y hacer predicciones que puedan ponerse a prueba mediante la evaluación para elegir la mejor opción (Campbell et al., 2015). Con esas influencias, se planificó la intervención didáctica buscando modelos dinámicos que pudiesen activarse tomando como punto de partida observaciones o la descripción de un determinado escenario o contexto. Esa contextualización, aunque sea ficticia, debe permitir realizar preguntas sobre ese escenario para que los estudiantes logren dirigir su razonamiento hacia la búsqueda de respuestas lógicas que el estudiante construya desde sus experiencias cotidianas y los conocimientos que posee sobre ese experimento mental (Oliva, 2019). Estas preguntas para la modelización deben permitir moverse constantemente de forma bidireccional entre el pensamiento científico y el pensamiento cotidiano que el alumnado tiende a aplicar a los fenómenos del mundo real (Merino y Izquierdo, 2011). Se aplicó este principio de modelización para lograr relacionar observaciones macroscópicas, como puede ser la presencia de grietas en suelos secos, que con anterioridad los vieron inundados, con una interpretación desde la estructura microscópica.

En los últimos años la modelización entró con fuerza en el ámbito de conocimiento del cambio climático. Por la naturaleza del reto del cambio climático, la modelización se extendió a los modelos de representación social que convergen con los estudios sobre las ideas y modelos alternativos sobre el cambio climático desde la Didáctica de las Ciencias. Desde la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales se puso énfasis en la importancia de conocer los modelos alternativos de los estudiantes y activarlos como estrategia de aprendizaje para que puedan confrontarlos con los modelos de la ciencia escolar. Por otro lado, desde otras áreas se puso énfasis en la importancia de tener en cuenta las

representaciones sociales para la comunicación del cambio climático. Esto es así porque dichas representaciones pueden tener diferentes orígenes socio culturales, como pueden ser informaciones de diversos medios de comunicación, no quedando el campo de la ciencia como el único de modelización sobre cambio climático (Arto y Meira, 2011). La sensación de coherencia que los estudiantes pueden llegar a obtener de estos modelos de representación social justifica la resistencia a su modificación en aquellos modelos basados en ideas alternativas, como el correspondiente a que el aumento del agujero de la capa de ozono provoca a su vez el aumento del cambio climático. Estudios de Meira (2013) muestran que esta resistencia sigue presente en estudiantes universitarios de carreras científicas e ingeniería. Esas dificultades para hacer avanzar los modelos mentales en los procesos de enseñanza y aprendizaje facilitan que se repitan los mismos esquemas de interpretación con los mismos errores en relación a los modelos científicos en poblaciones escolares muy diferentes, desde primaria hasta la universidad (Meira, 2013). Entre estos modelos de necesaria y difícil modificación, destaca la relación del agujero de la capa de ozono con el cambio climático. La interferencia entre estas representaciones sociales en la modelización del cambio climático que conduce a la idea alternativa de los agujeros en la capa de ozono como causante del cambio climático, ya aparecía en estudios anteriores a que el cambio climático fuera un paradigma firme en la ciencia. Así Sónora y García-Rodeja (1996) expresaron, sobre las ideas de estudiantes de secundaria sobre el aumento del efecto invernadero, que entendían que la pérdida de ozono lo asociaban con el paso de más radiación, que sería para ellos la responsable del aumento de la temperatura. En esta misma línea García-Rodeja y Lima (2012) estudiaron los modelos de pensamiento de los estudiantes sobre el cambio climático, en concreto sobre el incremento del efecto invernadero, y vuelven a aparecer las mismas ideas y modelos alternativos que se vuelven a repetir en otros estudios posteriores, tal y como encontraron Varela et al. (2018).

A finales de la segunda década de este siglo, ante los desafíos ambientales, sociales y económicos que debe afrontar la sociedad en su conjunto ante retos como cambio el climático, se percibió la necesidad de repensar los objetivos de la educación y las competencias necesarias para que los estudiantes se conviertan en agentes dinámicos del cambio (OECD, 2019). Estas competencias educativas que urgen están en concordancia con el Marco de Aprendizaje 2030-Compás 2030. Este marco de aprendizaje de la OCDE se alinea con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas aprobada en el año 2015 y conocida como la Agenda 2030. Entre los objetivos que contempla la Agenda 2030 destacan para este estudio la acción por el clima (ODS13), el de enseñanza inclusiva y equitativa de calidad (ODS4), el de vida submarina (ODS14) y el de vida en ecosistemas terrestres (ODS 15). Sobre la confluencia de estos cuatro ODS se planteó Climántica Iberoamérica, que recibió el máximo patrocinio de la UNESCO en el año 2019 (Sónora y García, 2020).

La publicación del informe IPCC del 7 de agosto de 2019, supuso la presentación y explicación de los datos científicos de las relaciones entre ciencias del suelo y las ciencias del cambio climático en la pérdida de la fertilidad. Ese informe científico advierte a la población mundial sobre los riesgos de pérdidas de fertilidad del suelo con el cambio climático y de sus posibles efectos de la seguridad alimentaria mundial. Dicha advertencia motiva que este estudio se orientara hacia la convergencia de los dos ámbitos, con la vocación de iniciar aportaciones para que la urgencia expresada en este informe se pueda orientar hacia su introducción en la educación secundaria.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo general de la tesis es *conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos cuando están implicados en distintas actividades relacionadas con temáticas medioambientales centradas en las ciencias del suelo y el cambio climático y realizadas en diferentes escenarios*. Este objetivo general se concreta en cinco objetivos de investigación (de O1 a O5), desarrollados a través de tres preguntas de investigación general (PI1, PI2 y PI3).

La secuencia y relación entre objetivos y preguntas de investigación es la que se expresa a continuación:

- **O1:** Analizar el proceso de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos, así como las interacciones que se producen durante unas sesiones de clase sobre ciencias del suelo, en las que estudiantes de secundaria, en pequeño grupo y en puestas en común en gran grupo, dan respuesta a preguntas relativas a la edad, origen, factores de formación, fertilidad y comportamiento del suelo, y donde el papel del docente es dirigir la actividad del conjunto de equipos de trabajo.

A la primera pregunta de investigación (PI1) se pretende responder siguiendo las orientaciones de este objetivo (O1), y a través de interpretaciones descriptivas de los casos primero y segundo.

PI1: ¿Cómo interaccionan los estudiantes en el uso de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo diseñada para que los grupos pequeños sólo necesiten del docente en orientaciones puntuales en la búsqueda de información y como desarrollan, mediante esas interacciones en grupos pequeños, sus capacidades de argumentación y de modelización?

A la segunda pregunta de investigación general (PI2) se pretende responder siguiendo las orientaciones del segundo y del tercer objetivo (O2 y O3) y a través de interpretaciones descriptivas y comparativas de los estudios de caso tercero y cuarto.

- **O2:** Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen estudiantes de bachillerato de dos grupos clase, uno de la modalidad científico-tecnológica y otro de la de humanidades y ciencias sociales, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio dirigido por el docente.
- **O3:** Comparar las diferencias en los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático en un coloquio dirigido por el docente, los estudiantes de los grupos clase de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

PI2: ¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo de clase de la modalidad científico – tecnológica y en el grupo de clase de humanidades y ciencias sociales? (descripción y comparación de los casos 3 y 4).

A la tercera pregunta de investigación (PI3) se responde siguiendo las orientaciones de los objetivos cuarto y del quinto (O4 y O5), a través de interpretaciones descriptivas y comparativas de los casos quinto y sexto, y comparativas del tercero con el quinto y del cuarto con el sexto.

- **O4:** Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan estudiantes de bachillerato argumentando en dos grupos pequeños, uno de cada grupo clase de cada una de las dos modalidades, tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio sin la participación del docente.
- **O5:** Comparar las diferencias en el proceso de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan, tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, los dos grupos pequeños de estudiantes de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, en un coloquio sin la participación del docente.

PI3: ¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?

La respuesta a la tercera pregunta de investigación principal (PI3), implica a tres dimensiones comparativas, porque a partir de la comparación de los casos 5 y 6, para comparar la retentiva en las dos modalidades, se necesita de las comparaciones entre el grupo de clase y el grupo pequeño en la modalidad científico-tecnológica (comparación de los casos 3 y 5) y en la modalidad de humanidades y ciencias sociales (comparación de los casos 4 y 6). Por eso la respuesta a PI3 requiere del apoyo en las respuestas a tres sub-preguntas de comparación de casos (SPCC1, SPCC2 y SPCC3):

- **SPCC1:** ¿Qué se retiene y qué cambia tres meses después en los argumentos y modelos desarrollados en el coloquio conducido por el docente y dirigido a estudiantes de la modalidad científico-tecnológica de 1º de Bachillerato? (comparación de casos 3 y 5).
- **SPCC2:** ¿Qué se retiene y qué cambia tres meses después en los argumentos y modelos desarrollados por los seis miembros del equipo de trabajo en coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de 1º de Bachillerato? (comparación de los estudios de caso 4 y 6).
- **SPCC3:** ¿Cómo influye la modalidad en la validez de los argumentos y de los modelos contruidos por los equipos de seis estudiantes que responden 3 meses después del coloquio conducido por el docente? (comparación de los estudios de caso 5 y 6).

Las preguntas de investigación principales (PI1, PI2 y PI3) se pretenden responder a través de los seis estudios de caso (figura 1.1). Se parte de un enfoque descriptivo (PI1) y se avanza hacia uno prácticamente comparativo (PI3), pasando por un enfoque mixto (PI2). Cada una de ellas sigue las orientaciones de los cinco objetivos. Así PI1 busca sus respuestas a través de la orientación de O1, PI2 lo hace siguiendo O2 y O3, y PI3 lo hace a través de las orientaciones de los objetivos O4 y O5. Con las respuestas a estas preguntas de investigación,

a través de los seis estudios de caso, y siguiendo las orientaciones de los cinco objetivos, se pretende extraer las conclusiones que permiten alcanzar el objetivo general del estudio (figura 1.1)

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	CASOS Y SU RELACIÓN
<i>Conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos cuando están implicados en distintas actividades relacionadas con temáticas medioambientales centradas en las ciencias del suelo y el cambio climático en diferentes escenarios.</i>	O1	PI1	Integración descriptiva de los estudios de caso 1 y 2.
	O2	PI2	Descripción comparativa de los casos 3 y 4; apoyándose en comparaciones.
	O3		
	O4	PI3	- Descripción comparativa de los casos 5 y 6. - Comparación de 3 y 5. - Comparación de 4 y 6.
	O5		

Figura 1.1 Cuadro que relaciona el objetivo general de la tesis con los cinco objetivos de investigación (O1, O2, O3, O4, O5), y con las tres preguntas de investigación (PI1, PI2 y PI3) mostrando como, a través de los seis estudios de caso, y bajo la orientación de los objetivos de investigación, las tres preguntas de investigación posibilitan a al alcanzar la resolución del estudio a nivel de lo expresado en el objetivo general.

La **relevancia** de esta tesis radica principalmente en sus contribuciones a los estudios sobre argumentación para el desarrollo de procesos de modelización complejos con un enfoque didáctico interdisciplinar y transversal, como son los temas de la sostenibilidad del uso del suelo y su fertilidad y el de las respuestas educativas al cambio climático. A su vez aspira a abrir líneas de trabajo a través de criterios epistémicos para el desarrollo de las capacidades de argumentación y modelización a través de propuestas didácticas diseñadas para conseguir contextos favorecedores de construcción grupal de argumentos. Se analiza la argumentación incluida en el discurso en diferentes escenarios de enseñanza y a través de las intervenciones discursivas en pequeños grupos y en grupos grandes de aula.

En ese análisis se aspira a encontrar pautas de argumentación y modelización que puedan ser útiles para introducir, a través de las materias de ciencias naturales de secundaria, como un enfoque transversal y competencial, los grandes temas de educación ambiental que preocupan a la humanidad. Uno de estos temas de debate es el que se toma como referencia en este estudio y que se corresponde con las relaciones del cambio climático y la sostenibilidad del uso del suelo que se expresa en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019. Un tema de esta relevancia requiere de contextos y criterios sobre argumentación y modelización que faciliten su incorporación al currículo de las ciencias de secundaria. La introducción en el currículo de secundaria de los contenidos científicos del informe IPCC del 7 de agosto de 2019, además de su potencial para el desarrollo de las capacidades de argumentación y modelización, facilita la sensibilización y el compromiso de la ciudadanía por la seguridad alimentaria mundial debido

a los riesgos que sobre generan los efectos del cambio climático por sus efectos sobre la fertilidad del suelo.

La relevancia que se visualiza en esta tesis para investigaciones futuras se expresa en la vocación de sumar sus contribuciones a otros estudios que posibiliten impulsar proyectos de investigación e innovación educativa multisectoriales dirigidos al sector escolar. En la relevancia se considera el potencial de esos proyectos para facilitar la introducción en el currículo de las nuevas relaciones del cambio climático con contenidos de ciencia escolar secundaria. Es previsible que esas nuevas relaciones se vayan publicando por el IPCC, a medida que van avanzando sus investigaciones científicas sobre cambio climático, como fue el caso de la fertilidad del suelo en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019. En esta introducción curricular de estas nuevas relaciones conceptuales del cambio climático con contenidos de la ciencia escolar, se debe seguir triangulaciones transversales entre el ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 4 (Calidad de educación) con los otros ODS vinculados a los contenidos que se vayan relacionando con el cambio climático, como es en el caso de la fertilidad del suelo en el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres). Con el enfoque derivado de esas triangulaciones se pueden desarrollar proyectos de investigación transversales de innovación educativa sobre educación ambiental articulada desde la ciencia escolar.

A la vista de la tendencia de las dos últimas décadas, es previsible que la ciencia del cambio climático del IPCC va a ir clarificando en los próximos años diferentes efectos y oportunidades de mitigación y adaptación. Se necesita aportar datos para la transposición didáctica del conocimiento hacia la ciencia escolar con un enfoque transversal de educación ambiental que relacione el cambio climático con elementos curriculares categóricos para la ciencia escolar, como es el caso de las influencias sobre la fertilidad del suelo. Esas relaciones pueden suponer nuevas oportunidades de aprender y enseñar sobre el cambio climático, que impliquen una enseñanza de más calidad y que puedan ir formando, desde la escolaridad básica, más y mejor a la ciudadanía para la acción por el clima.

Para que estas contribuciones puedan ser relevantes, estas propuestas de investigación deben introducirse en los centros de educación secundaria. La mejor forma de hacerlo es a través de proyectos multisectoriales dirigidos al sector escolar, que requieren de procesos de investigación. Para conseguir su viabilidad se deben conseguir los medios necesarios para investigar e innovar sobre estas nuevas formas de aprender y enseñar, y también los contextos adecuados que faciliten superar las barreras y resistencias a innovar e investigar en los centros escolares. Por eso para conseguir esta relevancia y viabilidad de las posibles contribuciones de esta investigación al desarrollo de futuras líneas de investigación, es recomendable que estas se orientan principalmente a la participación con candidaturas multisectoriales orientadas modalidad de innovación educativa en el sector escolar de Erasmus+. También puede ser interesante tener presente las convocatorias de cooperación territorial e innovación educativa de la Secretaría General de Educación del Gobierno de España y las convocatorias de proyectos programa de innovación educativa de las comunidades educativas españolas, tomando como referencia los contratos programa de la Xunta de Galicia.

1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Esta memoria de tesis se organiza en seis capítulos (figura 1.2) de los cuales los tres primeros (introducción, marco teórico y metodología) se sitúan en la primera fase de fundamentación. La parte de resultados (capítulo 4), que ocupa la fase central de su desarrollo, se organizó en seis estudios de caso. De esa se pasó a la tercera y última fase del trabajo que comprende los dos últimos capítulos (discusión general y conclusiones con sus implicaciones didácticas, limitaciones y posibles líneas futuras de investigación).

La primera fase, fundamentación, incluye tres capítulos: *introducción*, *marco teórico* y *metodología*. En el primer capítulo de *introducción* se presentan los antecedentes de la investigación en las últimas cuatro décadas, sus objetivos con su relevancia y este último sub-epígrafe que describe la estructura de la tesis.

En el segundo capítulo, *marco teórico*, se presentan tres principales ámbitos de conocimiento que fundamentan la tesis: 1) el constructivismo como teoría de aprendizaje aplicado en la investigación, que incluye los principios de intervención implicados en la investigación, con un estudio de detalle de la argumentación en la enseñanza de las ciencias y de los modelos y modelización, 2) las ciencias sobre el uso y gestión sostenible del suelo, como recurso no renovable, en relación con la adaptación y mitigación del cambio climático y 3) ciencias del suelo y del cambio climático en el currículo y en la investigación en Didáctica de las Ciencias.

El tercer capítulo, *metodología*, se estructura en cinco apartados: 1) metodología cualitativa del estudio, 2) los estudios de caso en la investigación (concepción de los estudios de caso, selección de los casos y definición y categorización de los casos), 3) el análisis del discurso en los estudios de caso (métodos de análisis, categorización, representación y valoración de argumentos), 4) etnografía e interacciones (observadores y análisis de interacciones) y 5) análisis de procesos de modelización (métodos para el análisis de procesos de modelización y valoración de modelos).

En la segunda fase de elaboración de la tesis se inicia con los resultados de la investigación que quedan recogidos en el capítulo 4. Se hace a través de la presentación e interpretación de los resultados de los seis estudios de caso, dedicándole a cada estudio de caso un subapartado. En todos ellos se presentan resultados y se analizan e interpretan los procesos de argumentación y de modelización, pero cada caso presenta singularidades. En el primer caso se aborda el análisis y la interpretación de las interacciones. En el segundo caso se incluye como elemento singular del caso, los aspectos relativos a una ontología completa de la reconstrucción de un modelo. La singularidad del tercero consiste en la dirección docente de un coloquio sobre una exposición de cambio climático con estudiantes de 1º de Bachillerato de la modalidad científico-tecnológica. El cuarto caso también se centra en el mismo tipo de coloquio en otro grupo clase de 1º de Bachillerato, y su singularidad tiene que ver con la dirección del mismo docente de un coloquio sobre la misma exposición de cambio climático se desarrolla en un grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En el quinto caso se repite el coloquio estructurado sobre la misma secuencia de cuestiones, pero esta vez ocurre tres meses después del coloquio dirigido por el docente, en un equipo de trabajo de seis voluntarios del grupo de clase de la modalidad científico-tecnológica, sin la intervención del docente ni el uso de materiales didácticos. El sexto caso repite la configuración del quinto caso, pero con la singularidad de que los seis voluntarios que participan son de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

La tercera y última fase del desarrollo de la tesis se inicia con el capítulo 5. En él se discuten los resultados referentes a los cinco objetivos. Para hacer esa discusión, se usaron las preguntas de investigación secuenciadas y organizadas por objetivos de investigación, tal y como se expresa en el segundo sub-epígrafe de este apartado. Esta discusión se dividió en tres sub-epígrafes. En el primero se discutieron los resultados correspondientes al objetivo uno, en el segundo se discutieron los resultados correspondientes a los objetivos dos y tres (O2 y O3) y en el tercero a los objetivos cuatro y cinco (O4 y O5).

En la estructura de la discusión se siguieron las tres grandes preguntas principales de investigación de carácter general (PI1, PI2 y PI3). La respuesta a la primera pregunta principal de investigación (PI1), y su respuesta sigue las orientaciones del primer objetivo de investigación (O1) y requiere de un análisis integrado de los dos primeros casos. La respuesta a la segunda pregunta de investigación de carácter general (PI2), y se responde siguiendo las orientaciones de los objetivos de investigación segundo y tercero (O2 y O3), y sobre ella se organiza la segunda parte de la discusión. Por último, la tercera y última pregunta principal de investigación (PI3), que estructura la tercera y última parte de la discusión, y se responde siguiendo las orientaciones de los objetivos de investigación cuarto y quinto (O4 y O5).

Esta tercera y última fase del desarrollo de la tesis se cierra con el sexto capítulo en el que se extraen las conclusiones, sus implicaciones didácticas, limitaciones del estudio y posibles futuras líneas de investigación. Para redactar las conclusiones se tuvieron en cuenta las respuestas a las preguntas de investigación orientadas hacia la consecución de los cinco objetivos de investigación. Por eso el primer subapartado del capítulo sexto, dedicado a las conclusiones se estructuró en tres partes, cada una relativa a una de las tres preguntas de investigación de carácter general. Después del subapartado de conclusiones, se dedica un segundo subapartado de este sexto capítulo a analizar las implicaciones educativas derivadas de esas conclusiones, por lo que se organizan siguiendo la misma estructura del apartado de las conclusiones. En el último sub-epígrafe de este último capítulo se abordan las limitaciones del estudio, finalizando con escenarios para posibles líneas de investigación que puedan derivar de las conclusiones e implicaciones educativas de esta tesis, teniendo presente la superación de las limitaciones del estudio aquí expresadas.

Para enfocar la explotación didáctica de las conclusiones y de las implicaciones derivadas de esta tesis, teniendo presente también la superación de las limitaciones del estudio expresadas en el último capítulo, la organización de la tesis se cerró con tipologías de convocatorias de libre concurrencia competitiva desde las que desarrollar las líneas de investigación propuestas. En ese enfoque se tuvo presente la naturaleza de las implicaciones educativas del sector escolar, que es al que se dirige las conclusiones e implicaciones didácticas de la tesis. También se tuvo presente los tres ámbitos de gestión que afectan a los centros escolares europeos.

A modo de conclusión de este apartado de la introducción, se expresa la organización de la tesis mediante el flujo del trabajo y su relación con los seis capítulos de la tesis mediante la figura 1.2.

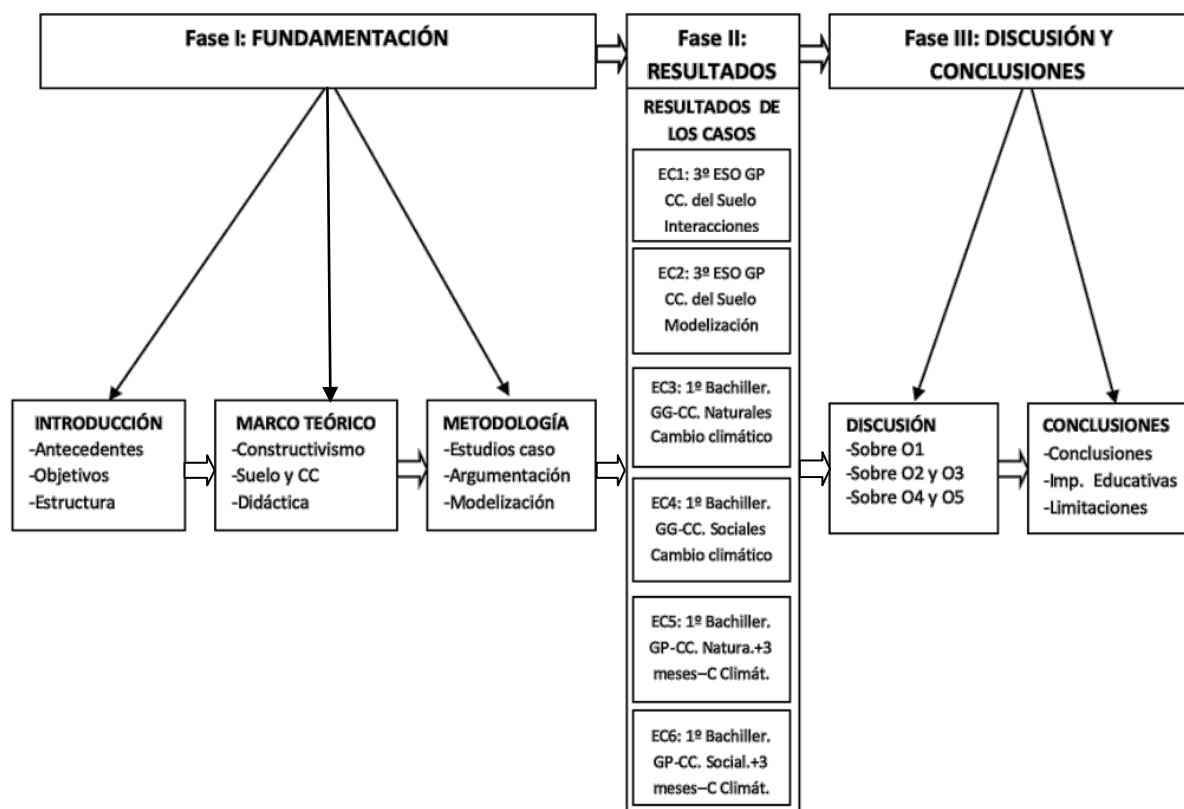


Figura 1.2 Representación esquemática de la organización de la tesis. Los resultados se organizan y analizan por cada uno de los seis estudios de caso. Los dos primeros estudios de caso (caso 1 y 2) que se representan en la parte superior, se corresponden con la discusión en grupos pequeños (GP) de 3º de la ESO sobre ciencias del suelo y se desarrollan en el mismo contexto de intervención didáctica. Los dos del medio son coloquios dirigidos por el profesor sobre una exposición didáctica de cambio climático, en dos clases diferentes de 1º de Bachillerato, una de la modalidad científico-tecnológica y la otra de la de humanidades y ciencias sociales. Los dos inferiores, cada uno se desarrolla con un grupo pequeño de trabajo (GP) de voluntarios, uno de la modalidad científico - tecnológica y otro de humanidades y ciencias sociales y responden a las mismas cuestiones que respondieron en el coloquio llevado a cabo tres meses antes, sin usar material didáctico, sin realizar repases ni intervenir en ningún momento el profesor.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico recoge las teorías del aprendizaje implicadas en la propuesta didáctica y en la investigación, los dos ámbitos conceptuales transversales que en ella se integran las ciencias del suelo y del cambio climático como contenidos de aprendizaje objeto de la investigación y el marco teórico que sustenta, desde el constructivismo social, la parte específica la investigación: indagación, argumentación y modelización.

2.1 EL CONSTRUCTIVISMO COMO TEORÍA DE APRENDIZAJE APLICADA EN LA INVESTIGACIÓN

Los conocimientos científicos sobre las relaciones entre sostenibilidad de la gestión del suelo y el cambio climático, recogidos en el informe del Grupo Especial del IPCC sobre cambio climático y uso de la Tierra publicado el 7 de agosto de 2019, expresan la necesidad urgente de tomar medidas de gestión sostenible del suelo en coherencia y sinergia con medidas de mitigación adaptación al cambio climático. Se plantea la urgencia del reto principalmente para velar por la seguridad alimentaria mundial en un contexto de crecimiento demográfico y de aumento de los efectos negativos del cambio climático sobre la productividad. La urgencia de este reto implica la formación de la población mundial sobre la confluencia de los retos de la sostenibilidad de la gestión del suelo y el cambio climático, y por ese motivo interesa conocer nuevas formas de enseñar las ciencias para introducir en el currículo escolar, de forma ágil y eficaz, este complejo enfoque científico transversal.

Estas nuevas formas de enseñar y aprender ciencias van a requerir de enfoques que permitan relacionar modelos de dos ámbitos científicos, ya de por sí muy transversales, como son las ciencias del suelo y las ciencias del cambio climático. Deben hacerlo además con un enfoque capaz de que la formación científica adquirida tenga un claro reflejo en la modificación de actitudes y comportamientos desde la formación básica. Por eso la educación que aspira a educar con y desde estos conocimientos científicos debe hacerlo teniendo presente lo que es el conocimiento humano, sus dispositivos, imperfecciones, dificultades y tendencias tanto al error como a la ilusión. Por tanto, debe ser un aprendizaje en el que estudiante aprenda conociendo lo qué es y significa conocer lo que estudia (Morin, 1999). Este enfoque de conocer lo que es conocer para que el conocimiento científico asimilado pueda ser una fundamentación sólida de los cambios de comportamientos necesarios justifica la atención que en este marco teórico se le da al constructivismo.

Esta corriente de teorías del aprendizaje tiene sus raíces en los avances hacia el ámbito pedagógico de los postulados racionalistas clásicos. De alguna forma los postulados básicos del constructivismo ya estaban presentes en el pensamiento de Kant, quien piensa que no podemos conocer el mundo tal como es, pero no estamos condenados a una permanente incertidumbre, porque la mente humana tiene formas trascendentales (condiciones a priori) que impone a los objetos.

Por eso la epistemología del constructivismo asume que existe un mundo real e independiente de nosotros, pero que no lo podemos conocer tal como es. Solo nos es dado el conocer el mundo que experimentamos a través de nuestras acciones con los objetos. A través de esta interacción con los objetos construimos representaciones o modelos explicativos de lo real, que muestran ser viables en tanto nos permitan dar respuestas y explicaciones coherentes y eficaces para nuestra adaptación al medio.

Por tanto, desde el punto de vista del aprendizaje humano, el constructivismo refuta la idea de que aprender consiste en copiar o reproducir de forma fiel un determinado contenido. Aprender, desde el punto de vista constructivista, consiste en construir representaciones acerca de las cosas y de los fenómenos del mundo, en un proceso activo en el que el sujeto pone en juego un marco de referencia previo que integra conocimientos, habilidades, expectativas, intereses y motivaciones. A medida que se progresa en el aprendizaje, nuestras representaciones del mundo van siendo reestructuradas y, como consecuencia, se hacen gradualmente más ricas, más complejas y poderosas.

2.1.1 Las teorías constructivistas implicadas en la investigación

El marco teórico está configurado por las diferentes teorías constructivistas recogidas en el Dossier “El Constructivismo y la Educación” (Ducret y Ducret, 2001): el constructivismo cognitivo piagetiano, el constructivismo sociocultural vygotskiano, el constructivismo narrativo de Bruner, el construccionismo de Gergen, las diversas teorías de los esquemas, la teoría de la asimilación de Ausubel, o la teoría de los constructos personales de Kelly. Todas ellas se enfocaron desde el punto de vista de que el conocimiento no es un proceso de recepción pasiva de información, sino que en realidad es el resultado de la actividad propositiva que el sujeto realiza con los objetos del mundo (Pardo y García-Tobío, 2015).

La propuesta diseñada desde este marco teórico busca la motivación de los estudiantes y que estos tengan que dar sentido a los problemas que tienen que ver con la fertilidad del suelo y con el cambio climático, prestando especial atención a las influencias entre ambos retos. Las respuestas que interesan son aquellas que demandan buscar explicaciones respaldadas por marcos de referencia, ya sean esquemas o modelos mentales u otro tipo de constructos personales acordes con su nivel de competencia curricular en Ciencias del Suelo y Cambio Climático, que en lo relativo a los análisis de Ciencias del Suelo no era demasiado elevado (14-15 años), y que aumenta en los análisis relativos a los modelos globales de cambio climático (16-17 años).

2.1.1.1 El constructivismo individualista en esta investigación

Son muchos los autores que sitúan a Piaget entre los pioneros del constructivismo. Sin duda es el autor más citado como figura destacada del constructivismo individualista, pero serían susceptibles de incorporarse a esta categoría la teoría de los "constructos personales" de Kelly (1955) o incluso, de alguna forma se podría incluir aquí, con ciertos reparos, la teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel. De alguna forma todos ellos defienden que el conocimiento es una construcción de un sujeto individual en interacción con el mundo (Pardo, 2015).

En esta investigación se busca que los estudiantes experimenten y argumenten sobre la sostenibilidad del suelo y los efectos del cambio climático en su contorno siguiendo estas teorías constructivistas del aprendizaje para que el estudiante induzca un orden, una regularidad, un patrón, un sistema, que le permita dar un sentido y coherencia a las evidencias con las que se les estimulan a través de sus sentidos. La mente de cada estudiante construye así, no solo el conocimiento acerca de las evidencias que se le presentan, sino también sobre los propios instrumentos del conocimiento, es decir, los esquemas y las estructuras cognitivas, que constituirán el marco de asimilación de la nueva información (Piaget, 1973).

En relación a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias del suelo y del cambio climático implicados en este estudio, conviene insistir en que según la teoría piagetiana del aprendizaje, la construcción de las estructuras cognitivas y de las categorías fundamentales del pensamiento científico resultan de la actividad exploratoria de un individuo solitario, actividad que está sometida a un mecanismo autorregulatorio interno que Piaget (1968) denomina “equilibración”, sobre lo cual no tiene ninguna influencia formadora la interacción social, lo que no ocurre en el presente estudio, en el que la interacción social tiene una importancia relevante. Pero el enfoque piagetiano no solo interesa tenerlo presente en este estudio por estar en la base del desarrollo del pensamiento constructivista, sino también por lo que aporta sobre la actividad estructurante del alumno. Esta es relevante en este trabajo, en especial en las reflexiones relativas al avance desde los modelos mentales iniciales hacia los complejos propios de las ciencias del suelo y del cambio climático, con el consiguiente análisis de ideas alternativas que lleva asociado.

2.1.1.2 La Teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel

Esta teoría centra su atención en los procesos mentales que posibilitan que una persona adquiera un nuevo conocimiento mediante un aprendizaje significativo, que debe producirse a través de la existencia de vínculos entre los nuevos contenidos a aprender y los conocimientos previos que de ellos tiene el individuo que aborda el aprendizaje de ese conocimiento. Para Ausubel et al. (1983) el aprendizaje existe si hay un proceso intencionado que permita establecer relaciones entre los nuevos conocimientos y las estructuras cognitivas previas del sujeto que quiere aprender dicho conocimiento. Por eso esta teoría del aprendizaje requiere que los contenidos que sean objeto de procesos de enseñanza y aprendizaje se organicen con una significatividad lógica, presentándolos con una estructura y coherencia interna que posibilite conexiones entre los diferentes conocimientos. Para esta teoría el estudiante es importante como lo era para Piaget, porque pone de relieve la importancia de sus conocimientos previos y la disposición favorable del estudiante para revisar y modificar sus esquemas de conocimiento. En la teoría del aprendizaje de Ausubel adquiere mucha importancia el docente, por la relevancia que le da a la forma en que este plantea los nuevos conocimientos y facilita su relación con los esquemas mentales de partida.

Si en el caso de la teoría constructivista de Piaget, a un individuo solitario le basta su interacción con el mundo para construir las grandes categorías del pensamiento racional, Ausubel defiende que el aprendiz necesita la asistencia activa de un profesor. Su teoría aproxima al constructivismo la información verbal aportada por parte del docente. Defiende que si este ajusta su acción docente a determinados principios cuyo fin es que el sujeto vincule la nueva información con elementos existentes en su estructura cognitiva, puede lograr aprendizajes valiosos sobre todo en temas complejos y multiangulares como son los

abordados por las ciencias del suelo y del cambio climático. Defiende así la economía y la eficacia de la comunicación verbal docente en el aprendizaje. Lo justifica en base a que el ser humano, como poseedor de lenguaje, vive en un mundo de conceptos que pueden ser aprendidos, de manera muy económica, por medio de la transmisión realizada por el profesor (Pardo y García-Tobio, 2015).

Por eso, no descartando el enfoque de aprendizaje por descubrimiento, se introduce las variantes surgidas de las críticas de Ausubel (2002) al constructivismo individual piagetiano, para no quedar en el simple activismo, poniendo así en valor la transmisión verbal del docente. Este punto de vista cobra especial relevancia en esta investigación, sobre todo cuando se trata de aprender conceptos y principios tan complejos como los implicados en las ciencias del cambio climático y del suelo. El marco teórico de Ausubel no debe descartarse cuando se busca conseguir que el alumnado aprenda conceptos y principios ecológicos que garanticen un conocimiento tan riguroso como lo que permita su nivel de competencia curricular.

La naturaleza multidimensional e integradora de las ciencias del suelo y del cambio climático hacen recomendable estimular “el pensamiento complejo” (Morin, 1990) para afrontar el conocimiento de una manera multidimensional. Se siguió así a dicho autor en su postulado de que este concepto de “complejidad” aspira a que el alumnado adquiera comprensiones multidimensionales del mundo frente al pensamiento simplificador y reduccionista (Pardo, 2015). Por eso las propuestas didácticas implicadas en estas investigaciones huyen del pensamiento reduccionista al que recurren muchas propuestas didácticas expresadas en los libros de texto. El uso del pensamiento complejo acoplado a procesos de aprender a pensar, a hacer y a hablar sobre ciencias del suelo y del cambio climático permite interiorizar las transferencias a la Escuela de la Edafología, de la Climatología y de la Ecología implicadas en esta investigación.

La necesidad de recurrir al pensamiento complejo justifica también que en esta investigación tenga un peso relevante la Teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel, que postula que un aprendizaje es tanto más significativo cuantas más relaciones establece el nuevo contenido con conceptos y conectores relevantes de la estructura cognitiva del sujeto. Por eso, a pesar de que esta teoría fue elaborada en la década de los sesenta del siglo pasado, todavía supone una notable aportación para la reflexión educativa y para el desarrollo de prácticas escolares en la educación secundaria contemporánea como las implicadas en esta investigación. Eso es así porque la escuela demanda aprender conceptos expresados mediante palabras con un significado diferente al que tienen el lenguaje común porque se encuentran organizados en disciplinas.

En este estudio en concreto adquiere un significado especial la teoría de Ausubel porque muchos de estos conceptos implicados en los procesos de enseñanza y aprendizaje de ciencias del suelo y del cambio climático incluidos en esta investigación, por densidad y por complejidad, no pueden ser aprendidos por descubrimiento puro, pero sí pueden aprenderse por descubrimiento guiado mediante el discurso verbal del docente, siguiendo esta teoría. Por eso Ausubel (2002) considera que el aprendizaje por recepción es el medio humano por excelencia para adquirir y organizar de forma significativa la inmensa cantidad de información que constituye cualquier campo de conocimiento, en especial los de mayor complejidad conceptual.

La Teoría del aprendizaje verbal significativo de Ausubel aborda el aprendizaje que tiene lugar en el aula, aprendizaje, por lo tanto, promovido por las actividades de enseñanza y aprendizaje curricular. En segundo lugar, Ausubel se ocupa de la adquisición y retención de contenidos escolares de forma significativa como resultado de la instrucción escolar que, desde su punto de vista, es fundamentalmente verbal. Por último, Ausubel explica este aprendizaje significativo como la asimilación de la nueva información por parte de la estructura cognitiva del que aprende, asimilación que da lugar, al mismo tiempo, a la reestructuración de la estructura cognitiva original (Pardo y García-Tobío, 2015).

Ausubel resume su teoría en este enunciado: "Si tuviera que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en el que el alumno ya sabe. Averigüese esto, y enséñese consecuentemente" (Ausubel et al., 1983, pág. 151). De esta forma Ausubel explicita la hipótesis de que la "estructura cognitiva" de la que dispone el sujeto condiciona los aprendizajes, de ahí que el conocimiento de esta estructura se convierta en una cuestión de extraordinaria importancia para el enseñante. La "estructura cognitiva" a la que alude Ausubel se refiere a la naturaleza organizada de sus contenidos que están dispuestos en un cierto orden y guardando, por lo tanto, determinadas relaciones entre sí.

Para esta teoría es muy importante construir un conjunto organizado de contenidos, que sea facilitador de la asimilación de nueva información o de nuevos contenidos, tal y como requieren las ciencias del suelo y del cambio climático. Aunque en el aprendizaje de las ciencias la asimilación es importante, cuando se tratan temas tan complejos como el cambio climático, adquiere un papel fundamental el concepto de la acomodación de la teoría de Ausubel. Esta teoría permite conectar con el cambio conceptual que demanda el aprendizaje del cambio climático para el avance en la maduración de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983). Por eso para el marco teórico de este trabajo tiene relevancia la importancia que Ausubel le da a la estructura cognitiva y, más en concreto, su complejidad, su organización, el número y el tipo de relaciones que tienen sus contenidos, con una importancia especial en el abordaje de contenidos tan interdisciplinares como son los relativos a las ciencias del suelo y del cambio climático.

La relevancia de la teoría del aprendizaje de Ausubel para este estudio es evidente, por cuanto condiciona de sobremanera la asimilación y la retención significativas de nuevas informaciones tan complejas e interconectadas como lo son las implicadas en esta investigación. Su aprendizaje requiere de la interacción entre el conocimiento de que dispone el alumno y las nuevas informaciones. De ahí la importancia que Ausubel atribuye "a lo que el alumno ya sabe" como variable o factor crucial para el aprendizaje. Eso es lo que justifica la relevancia que en esta investigación se le da a la exploración de las ideas previas, en especial en aquellos aprendizajes más complejos y estructurados como son los propios de los conceptos, principios, procesos y teorías presentes en las ciencias del suelo y del cambio climático. En la adquisición de este tipo de aprendizajes adquieren gran relevancia lo que Ausubel denomina "conceptos inclusores", llamándole así a las ideas existentes en la estructura cognitiva que tienen relación con la nueva información y que actúan como lugar de anclaje de esta información. Los conceptos inclusores permiten que la nueva información se conecte a la estructura cognitiva, y eso es lo que posibilita la adquisición de nuevos aprendizajes

de Ausubel solo se aprende de forma significativa si los nuevos conocimientos se conectan con los conceptos inclusores. Por tanto, la transmisión verbal del docente debe estar planificada y organizada para generar esas conexiones con los conceptos inclusores. Además, el propio aprendizaje significativo provoca que los propios conceptos inclusores se modifiquen y se diferencien, diversifiquen y singularicen cada vez más, lo que propicia y facilita a su vez mayores niveles de aprendizaje significativo (Ausubel, 1973). En buena medida los conceptos inclusores remiten a las ideas previas de los estudiantes, por lo que las ideas alternativas, previa valoración para su readaptación en la dirección de los modelos científicos, tienen valor como potenciales inclusores, en especial para el aprendizaje de conocimientos tan complejos y multiangulares como son los de las ciencias del suelo y del cambio climático. En esta interpretación Ausubel está reconceptualizando los procesos simultáneos de asimilación y acomodación establecidos en la teoría del constructivismo genético de Piaget (1973). La asimilación hace referencias a la incorporación de conocimientos nuevo en los esquemas anteriormente consolidados y la acomodación implica la modificación de los esquemas cognitivos del que aprende y la formación de otros nuevos.

Desde los enfoques puramente transmisivos del conocimiento, estas ideas previas o ideas alternativas de los estudiantes son consideradas como errores que obstaculizan, que interfieren, en la adquisición de los contenidos escolares. Pero lo que resulta de esa concepción del aprendizaje es que el alumno aprende de forma repetitiva contenidos académicos, que con el paso del tiempo no tarda en olvidar, y sigue actuando conforme lo que ya sabía, conforme a su conocimiento intuitivo, que es el que usa para buscar explicaciones a la realidad.

Por el contrario, la teoría de Ausubel tiene la virtud de dar importancia a las concepciones procedentes de vivencias y experiencias cotidianas, de los estudiantes porque supone que las nuevas informaciones son interpretadas, filtradas, a través de las ideas previas que poseen. Por tanto, asumen como punto de partida básico las experiencias y los conocimientos ya disponibles por el alumno para adaptar mejor las actividades de enseñanza y, en último término, ayudar al alumno a reconstruir su estructura cognitiva. La experiencia de la investigación en aprendizaje científico en la escuela muestra el valor de este punto de vista en la adquisición de conocimientos de esta naturaleza, tal y como se expresa en la parte de este apartado relativo a la investigación en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias.

En síntesis, y como avance en relación al constructivismo individual piagetiano, la teoría de Ausubel, por su clara vinculación con el aprendizaje escolar, considera errónea la concepción de que el aprendizaje por recepción es invariablemente repetitivo. Cuestiona también el tópico pedagógico que el aprendizaje por descubrimiento es inherente y forzosamente significativo. En esta línea, pone en valor la transmisión oral del docente, pero no en la dimensión clásica escolar de memorística – repetitiva, sino que apuesta por la memorístico-significativa. La primera la descarta porque la información se adquiere por el mero hecho de repetirla a nivel verbal, y apuesta por una memorización basada en atribuir un significado a la información verbal, lo que implica una transmisión mediante procesos de razonamiento. Este enfoque le lleva a defender que tanto es posible que el aprendizaje por descubrimiento pueda ser tanto repetitivo como significativo. Por tanto, el uso del razonamiento también vale para el aprendizaje por recepción si se usan razonamientos implicados en estrategias memorístico-significativas.

En conclusión, la teoría de Ausubel resulta muy relevante en esta investigación por su profunda dimensión escolar y por su eficacia demostrada para interpretar procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias en general, en especial en las más complejas por interdisciplinarias y multiangulares, como es el caso de los aprendizajes de las ciencias del suelo y del cambio climático.

2.1.1.3 La teoría del "constructivismo sociocultural" de Vygotsky y Bruner

Aunque la Teoría de Ausubel es válida para esta investigación, este marco teórico no puede obviar que se centra demasiado en la dimensión docente y discente, dejando bastante al margen la fundamentación de la relevancia que tiene para las clases de ciencias en las escuelas de secundaria las indagaciones en equipos de trabajo. El aprendizaje significativo ausubeliano no abarca con la suficiente capacidad explicativa para la comprensión como la argumentación, desarrollada en las dinámicas grupales de la investigación, conduce la evolución de los modelos mentales iniciales sobre ciencias del suelo y cambio climático. Tampoco explica de forma satisfactoria el papel de la dimensión afectiva y las variables de las relaciones sobre las que se desarrollan los procesos de argumentación colaborativa. La fundamentación teórica de esa dimensión socio afectiva se aborda también en esta investigación desde el constructivismo, pero para este ámbito se recurre en este caso al Constructivismo sociocultural (Riviére, 1984).

La fundamentación de la indagación en grupos de trabajo desde el punto de vista de las teorías del aprendizaje socioconstructivista parte de los postulados teóricos de los que probablemente sean las figuras más representativas del "constructivismo sociocultural": Vygotsky y Bruner. Vygotsky considera que la conciencia humana, que se expresa en las diferentes funciones psicológicas superiores, es el resultado de la interacción social en contextos histórico-culturales particulares.

Para Vygotsky los nuevos conocimientos se integran en la estructura cognitiva como resultado de la interacción que se establece con los demás (Riviére, 1984). Esta concepción del aprendizaje entiende que el estudiante se apropia e interioriza las herramientas simbólicas en el transcurso de la interacción con otras personas. Vygotsky introduce el concepto de Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) como recurso para explicar el aprendizaje que se produce en marcos de interacción, constituidos por la persona que enseña, la persona que aprende y un determinado objeto de aprendizaje. Plantea que un estudiante puede aprender por sí mismo porque posee una Zona de Desarrollo Real, pero su aprendizaje puede alcanzar un nivel de desarrollo potencial si cuenta con la ayuda de expertos que le ayude a desarrollar estructuras mentales que le permitan construir aprendizajes más complejos de los que podrían alcanzar por sí mismos. La Zona de Desarrollo Potencial queda así definida como el avance con la ayuda de expertos desde el nivel que tiene en la Zona de Desarrollo Real del estudiante cuando inicia el proceso de enseñanza aprendizaje hasta el nivel de desarrollo que alcanza en la Zona de Desarrollo Potencial, con la ayuda del experto, al finalizar ese proceso de enseñanza y aprendizaje dentro de su ZDP. Con este planteamiento pone en valor el papel del profesorado en el proceso de aprendizaje. Para ello el docente debe planificar y orientar el desarrollo de actividades de aprendizaje ajustando lo que expresa el alumnado y el significado del contenido escolar que expresa el docente, utilizando el lenguaje implicado en la argumentación para esta negociación docente – discente propia del proceso de enseñanza – aprendizaje. Por eso todas las propuestas didácticas de esta investigación exigen de los

estudiantes procesos de verbalización de sus pensamientos, para que, al esforzarse por expresarse con claridad y convicción, tengan la necesidad de reorganizar sus ideas en la dirección de la evolución de sus modelos mentales iniciales (Johnson-Laird, 1983) que demanda las ciencias del suelo y del cambio climático implicadas en la investigación.

La explicación abreviada de la ZDP significa que la persona que enseña proporciona al estudiante llegar a un nivel más elevado que lo que podría alcanzar por sí mismo (Vygotsky, 1987). Con la ayuda del docente el estudiante puede avanzar desde el nivel de desarrollo real que posee a un nivel de desarrollo potencial que solo podrá alcanzar recorriendo la ZDP que implica la ayuda docente.

Posteriormente Bruner (1983) amplía la capacidad explicativa de la ZDP, permitiendo interpretar mejor las dinámicas que se van generando en el interior de este marco interactivo en el transcurso del proceso de enseñanza y aprendizaje. Esa ampliación utiliza el concepto de "andamiaje" para explicar la dirección que van tomando las ayudas que el docente da al estudiante. Las ayudas a las que se refiere el concepto de "andamiaje" van desde el inicio del proceso del aprendizaje, momento en el que se produce el máximo nivel de ayuda (provisión de impulso motivador, de visiones que delimitan y simplifican el problema, de guía hacia objetivos que den sentido al aprendizaje, de señales que apunten a aspectos clave de la tarea, de modelos, de ejemplos de actuación, de razonamiento, de análisis, etc.) hasta su final, momento en que la directividad del docente es mínima y el estudiante toma el control (Pardo, 2015).

Para la construcción de andamiajes eficaces se necesita organizar esquemas conceptuales sobre núcleos conceptuales que aglutinan todas las relaciones conceptuales facilitadoras de conexiones. En esta organización cobra fuerza la Teoría de Modelos Mentales (Johnson-Laird, 1983). Un modelo mental se organiza en torno a un núcleo conceptual que destaca por su potencia y conectividad con los demás conceptos implicados en ese modelo mental. Por eso, alrededor de ese núcleo conceptual más potente se van asociando una red de conceptos (Pujol, 2003). Estos modelos mentales van cambiando según la orientación marcada por los andamiajes. Una buena planificación de andamiajes desde el punto de vista de la teoría de los modelos mentales debe perseguir que los modelos mentales iniciales se modifiquen hacia modelos evolucionados que den explicaciones coherentes y satisfactorias, mejorando así la potencia explicativa al ser el modelo mental evolucionado más coherente con el modelo de la ciencia. En este proceso de los avances en el proceso evolutivo de los modelos se va avanzando desde el nivel de desarrollo real al nivel de desarrollo potencial, quedando expresado ese avance con la ayuda docente en forma de andamiajes como Zona de Desarrollo Próximo (ZDP), lo que permite así integrar así en este marco teórico los postulados de Vygotsky, Bruner y Johnson - Laird.

En coherencia con este amplio marco constructivista, para esta investigación se aplicó la unidad didáctica "Diez mil años en un centímetro" (anexo I) con un andamiaje capaz de permitir a los estudiantes de forma poco dependiente de las orientaciones docentes, porque su rol será atender a dudas de los diferentes equipos de trabajo que aprenden de forma simultánea siguiendo este andamiaje. También se desarrolló un andamiaje capaz de hacer avanzar la madurez de los modelos mentales iniciales a través de la búsqueda de las respuestas a las preguntas contenidas en la exposición de Climántica (anexo II). El marco constructivista, desde las dimensiones analizadas en este apartado, resulta interesante para esta investigación porque da cabida a los diferentes modelos de aprendizaje implicados en las

actividades escolares objeto de estudio en esta investigación: aprendizaje por descubrimiento autónomo, aprendizaje por descubrimiento guiado, aprendizaje a través del diálogo y de la negociación de significados y, en menor medida, el aprendizaje por transmisión.

2.1.2 Principios constructivistas de intervención implicados en la investigación.

En base a estas tres teorías constructivistas del aprendizaje implicadas en la investigación se aplicaron seis principios constructivistas de intervención de didáctica a la investigación. Estos, en su planteamiento, incorporan los tres elementos didácticos básicos del constructivismo: el estudiante, el docente y el contenido objeto de aprendizaje. Los seis principios que se aplicaron fueron: 1) principio de actividad, 2) principio de la comunicación y el diálogo, 3) principio de significación, 4) principios de la contextualidad, 5) principio de la reestructuración, 6) principio de autonomía.

2.1.2.1 Principio de actividad

El Constructivismo postula que el conocimiento no es un proceso de recepción pasiva de información, sino el resultado de la actividad propositiva que el sujeto realiza con los objetos del mundo (Ducret y Ducret, 2001). En este proceso activo, que arranca de la curiosidad natural, el sujeto trata de dar sentido a la información en función de su marco de referencia, ya sean esquemas, estructuras cognitivas, modelos mentales o constructos personales, según el enfoque teórico en el que nos situemos. Este principio constructivista implica una actividad que parte y hace avanzar la expresión de Dewey (1967) de "aprender haciendo".

Se trata de una actividad inspirada en el pensamiento vygotskiano de que el ser humano, se encuentra armado con una herramienta cultural tan poderosa como el lenguaje (Vygotsky, 1987). Según este principio, los humanos nos enfrentamos al mundo mediante la actividad mental, de naturaleza conceptual, en la que los significantes expresan conceptos. Este principio constructivista de actividad aplicado a esta investigación conecta con el aprendizaje por descubrimiento, incorporando las aportaciones que Ausubel hizo sobre el papel docente y se orienta hacia procesos de indagación que conduzcan a discursos que permitan evaluar la coherencia e incoherencia científica de su argumentación, así como los modelos mentales que subyacen en esos argumentos. Por eso la propuesta comprende bastantes actividades basadas en el descubrimiento autónomo estimulan la actividad autoestructurante del estudiante.

En los procesos didácticos planificados para esta investigación se tuvo muy presente el uso del lenguaje en interacciones de los miembros de grupos de trabajo en el marco de la ZDP de Vygotsky (1987). Por eso se fomentó la argumentación oral, buscando que los estudiantes se abstraieran de lo concreto para pensar sobre conceptos, pero, sobre todo, desarrollando la capacidad inventiva estimuladora del pensamiento hipotético - deductivo. Se estimuló la actividad mental promovida desde la palabra transmitida por alguien que sabe de lo que enseña y por la construcción de argumentos de los estudiantes con, o sin, la intervención del docente.

En esta concepción de la actividad se incluyó el postulado de Ausubel (2002) de que desde la transmisión verbal también es posible propiciar la actividad del estudiante creador de comprensión significativa del mundo. Esto significa una ampliación del concepto de

aprendizaje por descubrimiento mediante el análisis experimental, incorporando la teoría ausubeliana al aprendizaje por descubrimiento a través de procesos de verbalización partiendo de lo que el estudiante ya sabe. En todo caso, este principio constructivista de actividad demanda que el estudiante tenga que organizar lógicamente una secuencia de contenidos y que el propio sujeto tenga disposición para aprender de la interacción verbal (Pardo, 2015). Por eso el principio de la actividad aplicado a esta investigación va de la mano del principio de la comunicación y diálogo.

2.1.2.2 Principio de comunicación y diálogo

Resulta de la aplicación del lenguaje al principio de actividad. Como se ha visto en el análisis anterior, la naturaleza histórico-cultural del ser humano basada en el lenguaje le aporta herramientas materiales y simbólicas obtenidas de comunidad cultural. Esto justifica la relevancia de los constructivismos socioculturales en la educación, como mecanismo singular de transmisión de la cultura y como fuente creadora de las funciones psicológicas superiores.

Por eso la propuesta didáctica vinculada a esta investigación busca la interacción social de los estudiantes con los docentes y compañeros de grupos de trabajo y la discusión. La interacción social implicada en esta investigación se orienta a que el estudiante se apropie de la cultura interdisciplinar científico – ambiental sobre ciencias del suelo y cambio climático. En esa orientación se potencia el uso del lenguaje como instrumento de relación con los demás (función comunicativa) y como instrumento de reestructuración psíquica (función reguladora del propio comportamiento y función intelectual). Estas proposiciones del enfoque sociocultural fijan o determinan una concepción de la educación en la que enseñar y aprender han de ser entendidos como un proceso de intercambio cultural entre miembros de una comunidad.

La naturaleza interdisciplinar de las ciencias del suelo y del cambio climático necesita de herramientas materiales y simbólicas de las que el aprendiz ha de apropiarse para entenderlos y comunicarlos. Por eso, entre las personas que enseñan y que aprenden se debe construir un puente de sentido (Álvarez y Del Río, 1990). Por eso los docentes deben diseñar esos puentes, y una vez que disponen de ellos, motivar e incentivar a los estudiantes para que los recorran con éxito. Solo así podrán cruzar ese puente que les va a posibilitar abordar comprensión del significado que tienen para la sociedad actual los retos del cambio climático y la sostenibilidad del suelo, con sus interrelaciones mutuas. Esta visión de la educación se ve respaldada por Bruner (1986), quien, en su obra empezó defendiendo el aprendizaje por descubrimiento, pero acabó sosteniendo que el estudiante se apropia del conocimiento en una comunidad formada por personas que comparten un mismo sentido de las cosas.

Pero para alcanzar esta “comunalidad de sentido”, es decir, una comprensión compartida del mundo es necesario que docentes y discentes participen en estructuras favorecedoras del intercambio, que se comprometan en actividades conjuntas, que negocien significados, porque para llegar a comprender hay que decir y explicar, dudar y preguntar, debatir y polemizar, analizar y argumentar, razonar y deliberar. Por eso en esta investigación se apostó por el uso del lenguaje en procesos de argumentación enfocados desde las perspectivas constructivistas socio-culturales con enfoques prácticos aplicados a los procesos de enseñanza aprendizaje de ciencias del suelo y cambio climático, y derivados de conceptos constructivistas recogidos en el Dossier monográfico de la UNESCO (Ducret y Ducret, 2001) como, “ZDP”, “andamiaje”,

"ayuda ajustada", "participación guiada", "enseñanza y aprendizaje dialógica", "grupos interactivos", "aprendizaje colaborativo y cooperativo", "comunidades de aprendizaje", "comunidades de práctica", etc.

Este conjunto de conceptos del Constructivismo socio-cultural explican que necesitamos a otras personas si queremos abarcar el aprendizaje de conocimientos tan complejos y multiangulares como son los relativos a las ciencias del suelo y del cambio climático. Sostienen que es a través de su palabra como logran poner a nuestro alcance el patrimonio acumulado por todas las generaciones que nos antecedieron y la que se está generando a gran velocidad. Por otro lado, en ámbitos como el cambio climático, en el que llegan a los estudiantes representaciones sociales a través de medios de comunicación, la palabra debe poner rigor y sentido científico a esas representaciones sociales (Bello et al., 2017).

Por otra parte, en ámbitos en el que se demanda y genera tanto conocimiento científico, no se debe perder de vista la dimensión de la construcción social de esos conocimientos sobre grandes retos ambientales, que se gesta en contextos de contradicción, de controversia, de disputa. Por eso, en la propuesta didáctica sobre la que se desarrolló la investigación, se generaron espacios de diálogo y de deliberación, de intercambio de ideas, de discusión y de confrontación de puntos de vista, de negociación de consensos basados en la validez de los argumentos.

2.1.2.3 Principio de significación

Considera que la visión del mundo que tenemos cada uno de nosotros la construimos en el curso de un proceso en el que continuamente damos sentido a la información procedente del contorno. Este principio defiende que el proceso no lo afronta un estudiante con una mente en blanco, sino un estudiante que aporta al acto de conocer un marco de referencia, un complejo constituido por experiencias del pasado, por conocimientos previos, por expectativas, intereses y actitudes. Dicho en otros términos, el estudiante construye y reconstruye continuamente su sentido del mundo, relacionando la nueva información con su estructura cognitiva o, si se quiere decir en términos más generales, con su esquema referencial.

Por lo tanto, en la medida en que las experiencias previas influyen en el aprendizaje, cualquier proceso de enseñanza y aprendizaje, según expresó Ausubel (2002), debe tomar como punto de partida lo que el estudiante ya sabe. Este conocimiento por parte del profesorado permitiría orientar la acción educativa, desde la planificación hasta el desarrollo docente, en el sentido de adaptar objetivos, tomar las medidas más oportunas de organización y estructuración de los contenidos, seleccionar los materiales y diseñar las actividades más apropiadas para el punto de partida de los estudiantes, anticipar los niveles de la ayuda pedagógica que deberemos utilizar con nuestro alumnado, etc. La necesidad de partir de las experiencias previas del alumnado forma parte del saber y de la práctica educativa del profesorado que participó en los procesos de enseñanza y aprendizaje implicados en este estudio. Es indudable que se trata de una condición básica, pero de ningún modo es el único requisito favorecedor o promotor de un aprendizaje significativo.

Este principio defiende que cuanto más ricos sean los ambientes de aprendizaje, cuanto más traten de representar la complejidad del mundo real, cuantas más ocasiones se dé al alumnado para examinar los contenidos desde múltiples perspectivas, cuantas más

oportunidades se les dé para comprender desde diferentes modos de representación (icónico y simbólico), más fácil será que se aprenda de un modo significativo. Por eso, en base a este principio, esta investigación tuvo como propósito indagar sobre los significados del alumnado, huyendo de diseños favorecedores de conocimiento memorístico mecánico, que solo favorecerían la repetición como estrategia de aprendizaje de aplicación universal. Por eso en todo el diseño de la propuesta didáctica se tuvo siempre presente favorecer y potenciar aprendizajes desde las ideas previas del alumnado. Por eso se incorpora el concepto de concepciones alternativas, refiriéndose las concepciones al modo en el que el estudiante construye una representación mental del mundo que le permite entender el entorno y actuar de forma apropiada, y el adjetivo alternativo establece una diferencia clara de esas concepciones con las científicas. Pero al mismo tiempo, al abordar este concepto bajo el enfoque del aprendizaje significativo se les da a las concepciones alternativas una entidad y relevancia entidad en sí misma (Aparicio y Moneo, 2000) que motiva su adopción como un concepto clave en esta investigación. Estas ideas alternativas a veces se estructuran como modelos mentales alternativos. Existen estudios donde se pone de manifiesto que los estudiantes llegan al aula con modelos explicativos alternativos sobre el cambio climático de una gran coherencia para el alumno que dificultan el aprendizaje de los modelos de la ciencia escolar (García-Rodeja y Lima, 2012 y Varela et al., 2020).

2.1.2.4 Principio de contextualidad

El concepto constructivista de "contexto" tiene dos sentidos. La primera acepción de contexto remite a la "complejidad de los problemas" como estímulo para el aprendizaje significativo. Esta "complejidad" hay que entenderla en el contexto tan pluriangular en que lo concibe Morin (1990): como cualidad de los fenómenos objeto de estudio en su contexto de relaciones. En el sentido que este autor expresa en su obra "El pensamiento complejo" está incluyendo al conocimiento multidimensional. En temas de la naturaleza de estos retos ambientales vinculados a la sostenibilidad tan interdisciplinarios como la sostenibilidad del suelo y el cambio climático, con la complejidad añadida de abordar las interrelaciones entre ambos retos, el conocimiento se debe abordar asumiendo que no se va a poder abordar por completo, y el enfoque del pensamiento complejo resulta ideal para abordar este tipo de aprendizajes propios de las ciencias del suelo y del cambio climático.

En ese sentido Morin (1990) afirma que el conocimiento completo es imposible, algo que interesa tener presente en el abordaje de los procesos de enseñanza y aprendizaje de estos retos ambientales complejos. Morin (1990) define en su obra, como principios de la complejidad las características de conocimiento incompleto, muy presentes en el abordaje curricular del cambio climático y de la sostenibilidad de los usos del suelo, con sus relaciones e interacciones. Por lo tanto, en el tratamiento escolar de los retos ambientales objeto de esta investigación, este concepto de "complejidad" aspira a que el alumnado adquiera comprensiones multidimensionales del mundo con profundidad, frente al pensamiento simplificador y reduccionista que, por otro lado, es activado y muy usado por los libros de texto, motivo por el que en esta investigación no se aplicó una unidad didáctica de un libro de texto y se diseñó una unidad coherente con este marco del pensamiento complejo.

Se consideró que los libros de texto no ofrecían las oportunidades que el marco teórico del constructivismo seleccionado requería, porque estos se producen desde la perspectiva del que Bernstein (1988) denominó "currículum puzle". En ese sentido los libros de texto

acostumbran a presentar contenidos aislados, fragmentados, fuera de toda relación y contexto, y al margen del marco dinámico en el que se inscriben los conceptos con los que definimos el mundo natural, el mundo sociocultural y el mundo de los artefactos humanos. Por ese motivo los libros de texto no se consideraron útiles para las propuestas didácticas de esta investigación, lo que motivó la elaboración de diseños didácticos específicos. Implícitamente, la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (2002) apoya el enfoque complejo, tal y como se defiende en este marco teórico sobre el proceso de enseñanza aprendizaje, cuando postula que un aprendizaje es tanto más significativo cuantas más relaciones establece el nuevo contenido con conceptos y conectores relevantes de la estructura cognitiva del sujeto.

La segunda acepción constructivista de "contexto" se refiere a los escenarios sociales en los que se producen los diferentes tipos de conocimiento humano. Se parte de una necesidad de superar la descontextualización que existe en sistemas educativos como el español, mediado por libros de texto que descontextualizan el aprendizaje en nuestras escuelas de secundaria, para resituar el aprendizaje en contextos auténticos. Esos contextos serán tanto mejores cuanto más se asemejen a los contextos en los que grupos humanos y comunidades construyen y usan el conocimiento conforme a determinados patrones estructurados de prácticas de "aprendizaje situado" (Lave y Wenger, 1991). Este planteamiento general, sin embargo, da lugar a dos interpretaciones que, si bien pueden llegar a tener la complementariedad que nos interesa, también corren el riesgo de ser disonantes como consecuencia de una visión reduccionista de la actividad en contexto.

Para evitar este riesgo de disonancia se optó por dar a la propuesta didáctica una visión amplia que aspiró a introducir en las aulas problemas auténticos y, por tanto, creíbles y asumibles por el alumnado. Estos problemas sobre gestión del sostenible del suelo y cambio climático se presentaron contextualizados desde la dimensión aquí expresada. Se buscó así el desarrollo de la construcción de conocimiento necesario mediante actividades prácticas orientadas hacia la indagación y capaces de generar argumentaciones incluidas en discursos orientados enmarcados en el constructivismo socio – cultural. El fin último del análisis del discurso contextualizado generado ha sido extraer del análisis de su argumentación patrones y modelos mentales relevantes para la enseñanza de las ciencias vinculadas al suelo y al cambio climático.

De alguna forma esta acepción de contexto es asimilable a un concepto relevante educación escolar contemporánea, como es la noción de "aprendizaje situado" (Lave y Wenger, 1991), que mantiene la idea de que la escuela debe ser un espacio social en el que se desarrollen actividades cotidianas para que el alumnado adquiriera significados de uso en la vida diaria. Este concepto se vinculó con el tipo de pruebas del informe PISA que incorpora ítems sobre situaciones cotidianas y escolares (Hernández, 2006). Por eso en los diseños de las propuestas didácticas y en su implementación en la investigación se buscan influencias de las circunstancias inmediatas y los contextos culturales y sociales en los que tiene lugar la actividad de aprendizaje, siguiendo el enfoque de Brown et al. (1989).

2.1.2.5 Principio de reestructuración o de reorganización conceptual

Este principio toma como principal referencia el postulado de la teoría ausubeliana de que cualquier aprendizaje significativo denota una modificación o transformación de la estructura cognitiva y, por lo tanto, entraña también un cambio de los conceptos y de las

proposiciones conceptuales, lo que se vincula también con el cambio conceptual (Ausubel et al., 1983). El requisito básico para que se produzca una reestructuración cognitiva y una modificación de sus elementos (conceptos y proposiciones) es generar en el aula un ambiente de trabajo que dé a los estudiantes la oportunidad de poner en entredicho su comprensión del mundo, que desafíe intelectualmente a los estudiantes y les ofrezca condiciones para remodelar la visión que tengan de las realidades del estudio. El cambio climático y sus relaciones con la disminución de la fertilidad del suelo recogidas en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019 (IPCC, 2019) que se abordan en esta investigación, por su actualidad, impacto y relevancia intelectual, son temas con potencial para motivar y desafiar al alumnado.

Por eso se apostó por los modelos dialógicos de enseñanza y aprendizaje, dado que ofrecen a los participantes a oportunidad de comprometerse en actividades compartidas, de intercambiar y "negociar" significados (Vygotsky, 1987). El contexto de participación en negociaciones e intercambios de significados que se ha ideado para el desarrollo de esta investigación estimula la aparición de conflictos y controversias entre modos distintos de concebir el cambio climático y la sostenibilidad del suelo. Para que esto ocurra se aplican estos principios teóricos en la planificación de discusiones y debates para que se confronten ideas, se haga un examen público de pruebas, de la validez de los argumentos y justificaciones. Se optó por estos enfoques dialógicos (Freire, 1996) en la investigación con la convicción de que con ellos era posible llegar a compartir significados hasta el punto de llegar a compartir modelos generados en los propios retos de reestructuración. Ni que decir tiene que el error, que tiende a ser penalizado en la enseñanza tradicional reproductiva memorística, es considerado aquí como una exigencia fructuosa en el marco de la indagación dialógica (Wells, 2001), porque la toma de conciencia del error estimula la reflexión y la busca de supuestos alternativos.

Aunque este discurso sobre la enseñanza dialógica parece ocultar o, cuando menos, poner en un segundo plano, la intervención directa del profesorado, en el ámbito escolar no se pone en duda que resulta crucial para propiciar la reorganización conceptual del alumnado. Para que esta visión socio-constructivista de la reestructuración no anule la relevancia del papel del docente, se trae a colación que el pensamiento vygotskiano considera que la mejor enseñanza es aquella que se adelanta a las capacidades aun no desarrolladas por el alumnado, y ello obliga y da oportunidades al docente de estar atento a estas oportunidades para el desarrollo de las capacidades de argumentación, algo que se tuvo presente en esta investigación. Este principio trae a colación el valor para los procesos de reestructuración de la intervención del profesorado en los límites de la ZDP, y el proceso continuo de ajuste de la ayuda pedagógica que en cada momento debe proporcionar al alumnado. Estos son factores clave en la predisposición de los estudiantes para la construcción de comprensiones significativas que requieren la comprensión de estos retos tan complejos y multi angulares. Por tanto, en esta investigación se buscó dar importancia a la investigación sobre la actuación directa del profesorado, teniendo presente que la palabra del enseñante es un dispositivo indeclinable de un enfoque educativo constructivista e imprescindible en retos de aprendizaje tan complejos como los que son objeto de estudio en esta tesis.

Por esta complejidad se tuvo presente la idea de "narración" que Bruner (1996) expresó en la obra "Realidad mental y mundos posibles". Sobre esta idea, Bruner afirma que la mente humana inventó dos modalidades básicas de pensamiento: la paradigmática o lógico-científica y la narrativa, todas ellas interesantes en las indagaciones y en sus análisis del discurso. Cada

una de ellas proporciona modos singulares de ordenar la experiencia y de construir la realidad.

La primera, tiene como propósito la descripción y explicación formal del mundo haciendo uso de proposiciones lógicas. Tanto la matemática, que constituiría singularmente el modelo ideal del pensamiento paradigmático, como la ciencia en sus diferentes formas de expresión, son elaboraciones propias del funcionamiento cognitivo paradigmático. El segundo, corresponde al pensamiento encarnado en los relatos que nos contamos a nosotros mismos y a los otros. El pensamiento narrativo es más antiguo que el paradigmático, y todas las personas tenemos facilidad natural para el relato, motivo por el que en la propuesta didáctica objeto de investigación se estimuló la argumentación en diversos contextos de indagación tendentes a la reestructuración.

Se buscó potenciar la capacidad de narración que Bruner (2003) asignó a la naturaleza humana. En la argumentación, que se estimuló desde las indagaciones propias de la investigación, se buscó que los estudiantes generaran argumentaciones verbales. El discurso se orientó hacia la expresión de modelos mentales susceptibles de evolucionar en la dirección de la coherencia con la visión científica de las ciencias del suelo y del cambio climático. El diseño busca que la argumentación de desarrolle en contextos de indagación significativos y facilitadores de procesos de reestructuración (Moreira, 2000). A través de la narración se buscó que argumentaran para llegar a modelos capaces de explicar problemas auténticos para el alumnado y, por tanto, asimilables al mundo real. Se pensó así en la narración grupal como un poderoso medio para enseñar y aprender.

En este enfoque narrativo se potencian los diálogos que acaban favoreciendo la aparición de formas de razonamiento de “sentido común” (Solbes, 2009), contemplando el aprendizaje de los conocimientos científicos como un proceso en el que es importante la incorporación de estrategias que favorezcan los cambios conceptuales. Esta forma de entender el cambio conceptual supera su acepción inicial de proceso de sustitución de ideas alternativas, teniendo presente en esta ampliación del concepto el cambio conceptual que se trata de un proceso que puede partir ideas alternativas, abordando así el cambio conceptual con mayor complejidad que una mera sustitución, lo que implica otros tipos de cambios como los procedimentales y los axiológicos (Solbes, 2009).

2.1.2.6 Principio de autonomía

Este principio expresa de alguna forma una síntesis del marco teórico relativo a los procesos de enseñanza y aprendizaje, vinculados a esta investigación, pues se buscó en todo el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes procesos de aprender a aprender.

Este principio llevó a potenciar ciertas aportaciones hechas al enfoque sociocultural, como la citada noción de “andamiaje” (Bruner, 1983) por cuanto proporcionan claves para que los docentes promuevan la autonomía y el control propio del alumnado. De acuerdo con lo que sugiere este concepto, el profesorado debe proporcionar el máximo nivel de ayuda al inicio del aprendizaje, escalonando el nivel de asistencia, de apoyo, que se presta al alumnado en el transcurso de la realización de las tareas, para, poco a poco, ir cediendo el control hasta que se traspasa completamente. En este proceso es fundamental la interacción entre los participantes y la negociación constante de significados, sobre todo en la oportunidad que esto

tiene para analizar la coherencia de la argumentación generada y los modelos mentales que en cierta manera puedan explicitar.

Por eso se optó porque las tareas fueran abiertas, en el sentido de permitir diversas soluciones posibles, así como el uso de diferentes estrategias de aprendizaje. En el desarrollo de la investigación se buscó que el propio diseño de las actividades, e incluso la intervención del profesorado, animara al alumnado a verbalizar su pensamiento. Por eso se prestó especial atención a la planificación de las actividades y de la intervención docente, a la secuencia de acciones que se realizaron, a las dudas que manifestaron los estudiantes y a la forma en la que los estudiantes sincronizaron sus intervenciones en sus interacciones y en el desarrollo cooperativo de la argumentación.

2.1.3 La argumentación en la enseñanza de las ciencias

2.1.3.1 La Argumentación como herramienta para promover aprendizajes científicos complejos mediante la interacción social

Las teorías y principios constructivistas expuestos se concretaron en esta investigación a través de la argumentación en Didáctica de las Ciencias, como una línea de investigación actual, analizando los argumentos bajo el enfoque de la propuesta filosófica de Stephen Toulmin (2007). En este enfoque del constructivismo social a través de la metodología cualitativa de la argumentación, el discurso es una vía que posibilita un proceso de construcción de conocimiento.

Los aprendizajes de las ciencias del suelo y del cambio climático en el marco de la urgencia del reto de la fertilidad del suelo en el contexto actual de cambio climático que comunica el Informe IPCC del 7 de agosto 2019, adquieren una relevancia social que demanda investigar fórmulas para aproximarlos a la alfabetización científica. La transcendencia que tiene este tema para la vida de los ciudadanos del siglo XXI demanda que su inclusión en alfabetización científica se haga bajo un enfoque competencial en el que la competencia científica adquiere un papel relevante. En el aprendizaje competencial de las ciencias del suelo y del cambio climático debe poner en práctica la competencia en interpretar datos y pruebas científicas (OECD, 2017). La argumentación está presente en las referencias curriculares a la competencia científica en los documentos curriculares actuales. Su uso curricular implica llevar a las aulas una dimensión epistemológica importante de la investigación científica, porque los científicos utilizan argumentos para relacionar los datos, las evidencias y las pruebas que seleccionan con las conclusiones a las que llegan a través de justificaciones y respaldos (Toulmin, 1958).

Una forma eficaz de promover la argumentación consiste en diseñar y aplicar situaciones de aprendizaje que permitan la interacción social verbal. Esta puede ocurrir solo entre los estudiantes, pero también entre ellos y el docente. Una estrategia para llevarla a cabo consiste en orientar las actividades hacia situaciones y contextos de toma de decisiones grupales que supongan el diálogo orientado a la elaboración de argumentos mediante el debate, la negociación y el consenso para tomar una decisión relativa a las conclusiones científicas orientando los conocimientos científicos para justificar esas conclusiones en base a las evidencias, datos y pruebas (Osborne, 2010).

Jiménez-Aleixandre y Erdurán (2007) entienden la argumentación como un tipo de discurso a través del cual se construyen enunciados tanto de forma individual como colectiva y se evalúan en base a pruebas empíricas o teóricas. La práctica de la argumentación implica los principios de las teorías constructivistas del aprendizaje por cuanto que promueve oportunidades para confirmar y extender el conocimiento previo del alumnado (Crujeiras-Pérez et al., 2020). La argumentación posibilita que los estudiantes construyan nuevo conocimiento científico al confrontar sus ideas con las de los demás a través de las justificaciones, y las evaluaciones y el contraste de diferentes perspectivas sobre cuestiones científicas y sociocientíficas (Jin et al., 2015).

El hecho de adoptar la argumentación como una herramienta para promover el aprendizaje significa transferir a la Didáctica las Ciencias el principio del constructivismo social de que el lenguaje hablado, la expresión oral, combina lo cognoscitivo y lo social (Vygotski, 1987) con una influencia clara del uno sobre el otro. El uso de la expresión oral en la argumentación en clases de ciencias, o en cualquier otro tipo de enseñanza tiene una relevancia decisiva debido a la importancia del lenguaje hablado para el aprendizaje (Jimenez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003). Esta importancia radica en las tres funciones lingüísticas que estableció Cazden (1991): la función del lenguaje del currículo que vehiculiza el proceso de enseñanza y aprendizaje, la de control mantenido por el docente y la de estilo personal que usa cada estudiante. Las tres dimensiones son de interés para identificar procesos de aprendizaje y sus posibles dificultades (Jiménez, 2003). En esa identificación se debe tener presente que la comunicación en las clases de ciencias permite a los participantes construir significados compartidos, tanto desde el punto de vista cognitivo como desde el punto de vista social en términos de negociación de significados. Pero en el análisis se debe tener presente que esto no ocurre siempre porque los estudiantes pueden hacer actividades juntos sin compartir ni construir colectivamente conocimientos (Kelly y Crawford, 1997) y por eso no llega el trabajo en equipos, sino que se deben planificar los procesos de enseñanza y aprendizaje que garanticen esa construcción colectiva de conocimientos.

La argumentación que se fue implantando a partir de la década de los noventa del siglo pasado y que está en plena vigencia por su relevancia en la competencia científica, se puede considerar complementaria a otras líneas de investigación que se desarrollaron durante las dos últimas décadas del siglo XX (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003) en la que se han explorado los conocimientos, ideas previas y representaciones del alumnado. Además, en la última década de los noventa se ha producido una evolución de estudios de ideas previas a estudios sobre argumentación a finales de los noventa (Driver et al., 2000), aunque se puede considerar que de alguna forma a principios de los noventa ya se inician estudios del discurso en el aula en trabajos de cambio conceptual y de resolución de problemas como los estudios de Hodson (1993).

Las investigaciones sobre discurso del aula se adecuan a estudios de caso en el encuadre de la investigación-acción, por cuanto que facilitan que los docentes analicen su propia práctica en el aula, facilitando así la dimensión de profesores investigadores en procesos de la mejora de la propia práctica educativa y la transmisión de conocimientos útiles para la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Tal y como expresan Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003), los docentes que se implican en estos procesos de reflexión son, en general, personas comprometidas con la innovación educativa, y sus clases y estrategias suelen ser singulares con diferencias con la mayoría.

2.1.3.2 El papel de la argumentación en el razonamiento para la comprensión de la complejidad científica

La enseñanza de las ciencias debería permitir desarrollar la capacidad de razonar y argumentar (Jiménez, 1998, Sardá y Sanmartí, 2000). El diálogo argumentativo en comunidades de aprendizaje permite exteriorizar el razonamiento argumentativo (Kuhn, 1992), permitiéndonos analizar lo que razonan para facilitar la evolución de los modelos mentales iniciales (Johnson-Laird, 1983) hacia modelos más coherentes en relación a los modelos científicos, afrontando para ello las dificultades de aprendizaje que se evidencien.

Para poder explicar las relaciones científicas complejas como las existentes entre el cambio climático y la fertilidad del suelo, los estudiantes deben aprender, de forma significativa, los conceptos complejos implicados. Ese tipo de explicaciones de relaciones tan complejas también requieren del desarrollo de capacidad de elección entre diferentes opciones, alternativas o explicaciones lo que supone una evaluación que posibilite una selección razonada de los criterios que permiten llegar a esa conclusión (Zohar y Nemet, 2002). Se hace así necesario un proceso permanente de evaluación que conduzca a la modificación de las conclusiones. Estas modificaciones se producen con la incorporación de nuevos datos y argumentos debidamente justificados en base a un conocimiento científico, y no a un mero cambio de opinión en cuya fundamentación no exista ningún razonamiento científico (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003).

Este diálogo argumentativo permite exteriorizar el razonamiento, y por eso si prestamos atención a las conversaciones entre estudiantes sobre cuestiones de ciencias, podemos entender cómo están razonando para apoyarnos en ese razonamiento de cara a avanzar en el proceso del aprendizaje científico. Esto explica que gran parte de los estudios sobre la argumentación se centren en el discurso real y natural que ocurre en el desarrollo de las clases de ciencias (Duschl et al., 1999), más que en los clásicos estudios de los años ochenta e inicios de los noventa del siglo pasado basados en la aplicación de cuestionarios.

La búsqueda de explicaciones lógicas en el análisis del discurso de cuestiones científicas tan complejas requiere del evaluador destreza para interpretar proposiciones, que desde el punto de vista de los modelos científicos presentan ambigüedades y vaguedades (Walton, 1989). Por eso los investigadores implicados en este tipo de análisis del discurso deben ser capaces de descifrar la línea fundamental de argumentación que está más o menos implícita en medio de extensos intercambios verbales entre dos o más personas, y que contiene una dosis de ambigüedad (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003). El análisis del discurso sobre cuestiones científicas complejas es un método cualitativo que suele desarrollarse en contextos de estudios de caso y que tiene un componente subjetivo. Por eso distintos investigadores pueden interpretar de distinta forma un diálogo. Ese intercambio de información debe centrarse en la organización de datos, los instrumentos necesarios para interpretarlos, su presentación y representación.

Las cuestiones metodológicas que plantea este análisis del discurso son complejas y van desde cómo organizar los datos, qué instrumentos utilizar para interpretarlos, hasta cómo presentarlos y representarlos por medio de inscripciones. El marco ideal que permite realizar estas operaciones es el de la etnografía y la antropología. Esta perspectiva sociológica ha sido aplicada de forma pionera al estudio de las clases y los laboratorios por Kelly y Crawford (1997).

Para analizar el razonamiento que subyace a una argumentación sobre una indagación en temas complejos y controvertidos como pueden ser los relativos a los de ciencias del suelo y ciencias del cambio climático, con sus interacciones, hay que buscar las frases o conjuntos de frases cuyos razonamientos recogen argumentos substantivos (Toulmin, 1958) y que son aquellos que necesitan de un conocimiento del contenido científico que subyace al argumento substantivo. Por tanto, es necesario identificar en las transcripciones de un grupo de trabajo argumentos substantivos, que son aquellos que se caracterizan porque su conclusión, explícita o implícita, constituye una respuesta al problema planteado. Una vez identificados estos argumentos puede valorarse la calidad del argumento (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003) por su valor para el razonamiento científico. Esa valoración puede hacerse por sus justificaciones, pero también por el proceso de construcción, “co-construcción” con los cambios a lo largo de proceso de la argumentación, por la capacidad que ese proceso tiene para resolver problemas, etc. Otros aspectos a valorar son el proceso de construcción, de “co-construcción” colaborativa, modificación y cambios en el argumento a lo largo de su desarrollo verbal colaborativo.

Para valorar la argumentación en base al razonamiento de conocimiento científico implicado se dispone de un potente instrumento en el modelo de Stephen Toulmin (1977), y que tiene componentes principales (Jiménez-Alexandre, 1998), datos, enunciados, justificación, conocimiento básico, calificadores modales y refutaciones. Este modelo se desarrollará desde el punto de vista metodológico en el apartado de metodología. Toulmin (1977) considera como argumento todo aquello que es utilizado para justificar o refutar una proposición.

2.1.3.3 Contribución de las prácticas discursivas a la construcción del conocimiento científico

El modelo de Toulmin (1977) permite que los estudiantes reflexionen sobre la estructura del discurso argumentativo. La argumentación en estas comunidades de aprendizaje implica compartir conocimiento por docentes y estudiantes, desarrollándose el aprendizaje en una comunidad de pensamiento (Sutton, 1992). Este enfoque supone apostar porque las prácticas discursivas contribuyan a la propia construcción del conocimiento científico. Hacerlo significa asumir que hacer ciencia también consiste en proponer y discutir ideas, evaluando alternativas, y eligiendo diferentes explicaciones y ampliar la visión del aprendizaje de las ciencias. Por tanto, tiene como objetivo la participación de los estudiantes en el discurso de las ciencias, dando a los estudiantes la oportunidad de resolver problemas o evaluar alternativas (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante 2003).

La participación de los estudiantes en los procesos de reflexión metacognitiva sobre la argumentación les permite obtener gradualmente más conocimiento y control, tanto del proceso argumentativo en sí mismo, como del proceso metacognitivo vinculado a este proceso argumentativo (Sánchez-Castaño et al., 2015). Según Tamayo-Alzate (2006), el conocimiento metacognitivo se centra en la comprensión que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos. Esto es lo hacen, desarrollando sus habilidades para evaluar y planificar su propio aprendizaje, cuando generan discursos argumentativos en comunidades de aprendizaje. La incorporación de estrategias metacognitivas por parte de los estudiantes mejora la argumentación, su capacidad para resolver problemas y el pensamiento crítico (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012).

El estudio de temas con implicaciones socio económico ambientales tan relevantes como el cambio climático y la fertilidad del suelo impulsan la metacognición en los procesos de la argumentación. Esta vinculación entre la metacognición y la argumentación se ve facilitada por la facilidad de estos grandes retos ambientales para la humanidad para conectar los procesos de aprendizaje con la triple dimensión sentir-saber-actuar desde una perspectiva ética de los estudiantes (Sánchez-Castaño et al., 2015). En este sentido la argumentación metacognitiva es un buen enfoque para integrar sentimientos, pensamientos y acciones en una unidad de aprendizaje caracterizada por la presencia de reflexiones y acciones de naturaleza metacognitiva en procesos que conducen a productos argumentativos elaborados por los estudiantes mediante la conjunción de la experiencia y lenguaje en el aprendizaje científico (Sanmartí y Jorba, 1996).

En relación con el aspecto epistemológico, la argumentación es una de las competencias científicas escolares a desarrollar. Exige situarse en una perspectiva epistemológica que dé valor a la crítica en el desarrollo de procesos de argumentación como acciones indispensables para la construcción tanto del conocimiento científico como de la ciencia escolar (Driver et al., 2000). También facilita la explicitación de las representaciones mentales que tienen los estudiantes sobre los aprendizajes que se abordan con esa argumentación, permite el aprendizaje de los principios científicos y potencia que los estudiantes comprendan la actividad cognitiva que siguen para comprender la ciencia (Sánchez-Castaño et al., 2015).

2.1.3.4 La construcción y comunicación de la ciencia a través de debates y discusiones en pequeños grupos

Los debates y discusiones en pequeños grupos son un medio eficaz para lograr la co-construcción de comprensiones colectivas significativas, facilitando la construcción de sentido sobre los conceptos para conseguir la transferencia consciente de esos conceptos a contextos externos al aula (Ortega et al., 2015). En este contexto el lenguaje tiene un papel protagonista en la construcción de la ciencia, así como en su comunicación a través de la enseñanza, y por tanto es importante para el proceso de aprendizaje de las ciencias.

En este uso del lenguaje en el aprendizaje científico los estudiantes consiguen dar sentido a los hechos al confrontar y consensuar las explicaciones científicas (Bravo et al., 2009). Por eso es importante mejorar los procesos comunicativos en los que se desarrolla la argumentación para conseguir aprendizajes científicos que lo demanden como puede ser en el caso del cambio climático y sus relaciones con la fertilidad del suelo. Esto supone priorizar su práctica en contextos concretos y reales de aula, usando el lenguaje en el aprendizaje en profundidad que requieren los conocimientos científicos complejos (Chin y Brown, 2000).

Esta concepción de la enseñanza discursiva de las ciencias facilita hacer explícito en las aulas el lenguaje usado por los científicos y adecuar sus usos e interpretaciones según los diferentes contextos de aplicación. Este uso del lenguaje de la ciencia en las aulas aporta herramientas a los estudiantes para que puedan comprender trabajo de los científicos y de los patrones temáticos propios del conocimiento científico (Sutton, 2003).

Desde este enfoque de la enseñanza discursiva de las ciencias es importante dirigir los esfuerzos de la introducción de la ciencia compleja de estos retos ambientales hacia el diseño de contextos de argumentación, en los que se planteen escenarios dialógicos en los cuales los

estudiantes se impliquen a través del diálogo en prácticas argumentativas en el aula ordinaria de clase, desarrollando estas unidades mediante una actividad social continua a través de la argumentación (Schwarz, 2009). Esto va a permitir que los estudiantes se cualifiquen en los usos del lenguaje hablando de ciencias como medio para conseguir el desarrollo de sus habilidades cognitivas, sociales y emocionales. De esta forma van alcanzando la comprensión de los conceptos y teorías, al tiempo que se forman como ciudadanos críticos, capaces de tomar decisiones (Sardà y Sanmartí, 2000).

2.1.4. Modelos y modelización

2.1.4.1 La Teoría de los Modelos Mentales en la Didáctica de las Ciencias

En la aplicación de las teorías constructivistas a investigaciones de enseñanza de las ciencias tienen un papel destacado los mecanismos de cambio conceptual que posibilitan avanzar desde representaciones inexpertas a representaciones expertas (Pujol, 2003). Por eso resulta interesante investigar como el alumnado aproxima sus ideas iniciales a nuevos aprendizajes, en lo que también se conoce como cambio conceptual.

En la investigación de los cambios conceptuales adquiere una importante relevancia la Teoría de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983). Su concepto central es el de Modelo mental que posee una organización conceptual en el que destaca un núcleo conceptual más potente que aglutina a su alrededor una red de conceptos que se conectan con ese núcleo. Esta teoría explica que los aprendizajes ocurren cuando se modifica un modelo mental inicial en uno evolucionado. Esto significa que tanto el núcleo conceptual como su red de conceptos se reorganizan con el aprendizaje. Según esta teoría el proceso de enseñanza – aprendizaje de las ciencias es un proceso dinámico de la actividad que proporcione situaciones de contacto con la realidad a interpretar que hagan modificar las formas iniciales de ver la realidad, al cuestionar los modelos de los escolares, para que tengan que incorporar nuevas variables, y las relaciones entre los elementos del modelo que se conectan con el núcleo conceptual. En ese avance se siguen las orientaciones que establecen los modelos científicos elaborados por la ciencia. Por eso para esta teoría los modelos y concepciones iniciales de los escolares son aprovechables desde el punto de vista didáctico, motivo por el que, aunque sean alternativos a los de la ciencia no se consideran errores, sino una etapa inicial del proceso de aprendizaje (Pujol, 2003).

La teoría de los modelos mentales implica entender el aprendizaje como un cambio conceptual que supone la modificación de los modelos mentales iniciales en la dirección de otros más evolucionados, resultandos útiles, en este proceso, las orientaciones de las transposiciones didácticas de los modelos científicos expresadas en modelos didácticos adaptados al nivel de competencia curricular. Por eso esta teoría implica un cambio conceptual en los procesos y representaciones mentales mediante los que los estudiantes procesan e interpretan los fenómenos científicos y no solo un cambio en el contenido de esas representaciones (Pozo, 1999). El desarrollo de procesos de enseñanza y aprendizaje aplicando la Teoría de modelos mentales implica la aceptación del valor y la utilidad de las ideas alternativas. Las concepciones alternativas, en cuanto a teorías implícitas, ya se corresponden con modelos mentales (Moreira, 1996). Aunque las ideas sean alternativas, van a ser igualmente valiosas, como punto de partida de su modificación hacia modelos más evolucionados y por tanto más coherentes con los modelos científicos. Se trata de modelos

implícitos porque el estudiante no es capaz de explicitarlos o bien no es consciente de esas ideas (Pozo, 1999).

Los modelos didácticos utilizados en el proceso de enseñanza y aprendizaje proporcionan una representación externa, adaptada a la edad, del modelo científico de referencia, fruto de su transposición didáctica. Pero esos modelos deben pasar a construirse internamente por los propios estudiantes, mediante procesos de andamiaje vinculados a recursos externos, entre los que destacan los modelos analógicos escolares que actúan de mediadores entre los modelos mentales iniciales y los modelos científicos hacia donde debe orientarse su modificación (Acevedo-Díaz et al, 2017).

Las representaciones que los estudiantes generan para comprender una situación están determinadas por las teorías con las que interpretan un conjunto de fenómenos, ya sean “teorías-marco” o teorías implícitas (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Los supuestos teóricos implícitos se construyen en los primeros años de vida del sujeto y por eso tienen serias dificultades para ser compatibles y coherentes con los presupuestos de las teorías científicas, convirtiéndose así en obstáculos a salvar en los procesos de enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos. Por tanto, esos procesos requieren de cambios en los modelos mentales que se deben generar colocando al estudiante ante la necesidad de construir modelos mentales coherentes, robustos y consistentes. Para ello esos contextos de aprendizaje deben facilitar que los modelos mentales evolucionen para permitir una mayor concordancia de su pensamiento con los datos y evidencias. La búsqueda de esa mayor concordancia sería el agente responsable del proceso de cambio conceptual en el caso de sistemas físicos dinámicos como los que se abordan en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales.

La Teoría de los modelos mentales postula que los modelos enseñados no son los modelos científicos, sino que serán aquellos que proporcionen una representación externa adaptada a la edad de los estudiantes del modelo científico de referencia que podemos denominar modelos didácticos. Por tanto, el modelo a enseñar será un modelo fruto de la transposición didáctica del modelo científico. Otro postulado de esta teoría es que los modelos de transposición didáctica de los modelos científicos que se enseñan deben facilitar que los propios estudiantes lo reconstruyan internamente, mediante los necesarios procesos de andamiaje en los que se recurrirán a la aplicación recursos externos, muchos de los cuales pueden ubicarse dentro de la categoría de modelos analógicos escolares (Harrison y Treagust, 2000).

2.1.4.2 Desarrollo y evolución de los modelos mentales en los estudiantes de Ciencias

La enseñanza-aprendizaje basada en modelos (*model-based teaching and learning*), aunque no es un objeto de estudio mayoritario, desde finales de los años noventa va adquiriendo un papel cada vez más relevante en la investigación de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Su aplicación en investigaciones de Didáctica de Ciencias Experimentales exige diseños dirigidos a sostener el desarrollo y la evolución de los modelos mentales de los estudiantes (Buckley, 2012). El aprendizaje basado en modelos genera contextos de enseñanza y aprendizaje que se distancian de la memorización para situar al estudiante, a través de explicaciones satisfactorias, en la consciencia del significado y sentido que tiene ese

aprendizaje científico, y al mismo tiempo le posibilita incorporar el conocimiento con la flexibilidad suficiente para que sea aplicable y transferible.

Cuando se opta por esta línea de investigación para conocer el paso de modelos mentales iniciales a modelos mentales maduros se analiza el aprendizaje basado en modelos como un recorrido o itinerario de progresión de los modelos, partiendo de los modelos personales intuitivos iniciales de los estudiantes. El conocimiento de estas representaciones mentales iniciales facilita el proceso de su avance hacia modelos mentales más evolucionados con mayor coherencia en relación a los modelos científicos que son los referentes para ese aprendizaje científico (Clement, 2000). Para conseguir esa evolución de modelos mentales la enseñanza se desarrolla mediante preguntas cuyas respuestas impliquen a los modelos mentales de los estudiantes y su revisión, si fuera necesario (Gobert y Buckley, 2000).

Este tipo de enfoque que va tomando forma en los años noventa tiene una conexión natural con los estudios de las concepciones de los estudiantes y del cambio conceptual, tal y como se evidencia en la preocupación de Driver (1989) sobre el estudio de la progresión conceptual mediante investigaciones dirigidas a diagnosticar los cambios que experimentan las concepciones de los estudiantes. Esos estudios de la década de los noventa sobre concepciones científicas de los estudiantes y del cambio conceptual evidenciaron que los modelos y teorías científicas, que el currículo establece sobre lo que el estudiante debe aprender, vienen formulados en lenguajes que se alejan bastante de los códigos de expresión que los estudiantes usan de forma habitual en las representaciones de sus conocimientos implícitos. Con frecuencia quedan escasamente formalizados como concepciones fragmentadas o aisladas (Pozo, 1999). Esto se evidenció en las investigaciones que usaron en esa década la argumentación como forma de explicitación (Duchsl, 1998), que exigen al estudiante la explicitación de sus modelos, pudiendo ser necesario afrontar cambios de representaciones que impliquen un cambio representacional en el sentido de redescubrir los modelos anteriores, buscando para ello estrategias de argumentación en la que lenguaje pueda evidenciar nuevos formatos representacionales (Mortimer, 1998).

En este enfoque los modelos son todos válidos para el desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje, aunque estén articulados sobre ideas alternativas para las ciencias. Por eso, aunque los estadios iniciales e intermedios de los avances de los modelos mentales puedan estar bastante alejados del modelo de referencia que se quiere enseñar, estos modelos no deben verse como no útiles para el aprendizaje, porque no son estáticos ni sus imperfecciones impiden su evolución hacia modelos mentales más coherentes con los modelos científicos. Por tanto, se deben ver más bien como entidades dinámicas que posibilitan que los estudiantes los usen en sus propias explicaciones y reflexiones sobre las evidencias que obtengan en sus experiencias apoyándose para ello en explicaciones e información adicional necesaria para que puedan realizar esas reflexiones y explicaciones (Acher, 2014).

Por eso los modelos iniciales que puedan estar articulados sobre ideas alternativas no deben ser apartados del proceso de enseñanza aprendizaje por ser considerados obstáculos para su desarrollo. Por el contrario, se deben ver como instrumentos necesarios para la reflexión y como lugar de tránsito natural hacia niveles más complejos a alcanzar con la evolución siguiendo la orientación del modelo científico. Estas progresiones son un objeto de investigación didáctica de interés para los docentes porque les permitirán descubrir tránsitos naturales del aprendizaje útiles para la eficacia de la planificación de sus andamiajes

destinados a la modelización que ayuden a los estudiantes a establecer conexiones entre sus ideas para hacerlas más complejas (Stevens et al., 2010).

En la segunda década del siglo XXI se desarrollaron múltiples estudios orientados a analizar la progresión de los estudiantes en los modelos mentales en situaciones de aula. Entre esos estudios destacan los análisis de las estrategias de andamiaje que facilitan el tránsito a niveles más complejos. Los que más se relacionan con esta tesis son los que siguen estrategias de argumentación basadas en retroalimentaciones, preguntas, pistas, explicaciones y otro tipo se pueden llegar a intuir nuevas formas de ver el fenómeno que pueden ser útiles para la planificación de los andamiajes (Crujeiras-Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2018). Muchos estudios relativos a estrategias a seguir en estos avances de los modelos mentales los encontramos en la formación inicial del profesorado en contextos de su formación para la planificación de andamiajes facilitadores de avances. En el nivel educativo de la enseñanza secundaria, en el que se centra esta investigación, resulta paradigmático en la línea de clarificación de este tipo de estrategias el estudio de Sesto y García-Rodeja (2017) sobre la comprensión del fenómeno de combustión en química en estudiantes de secundaria, por citar solo algunos ejemplos.

Los estudios del aprendizaje basado en modelos buscan implicar de forma activa al alumnado en la aplicación de los modelos que ellos mismos elaboran, entendiendo metafóricamente el aprendizaje en términos de práctica científica. Este tipo de estudios de avances en los modelos mentales científicos se suelen desarrollar en contextos escolares de la teoría del aprendizaje situado, que pone de relieve la actividad vinculada a los contextos en los que tiene lugar el aprendizaje (Brown et al., 1989). También suelen desarrollarse en grupos de trabajo en el que aprender y hacer están biunívocamente relacionados, asumiendo el principio de que si los estudiantes afrontan indagaciones en el contexto pertinente se producen co-construcciones de modelos mediante un proceso participativo que impulse a los estudiantes a transformar modelos a través de acciones y relaciones con el mundo (Driscoll, 2000), apoyándose para ello andamiajes en cuya clarificación pueden jugar un papel relevante las estrategias de argumentación.

2.1.4.3 La modelización en la actualidad de la Didáctica de las Ciencias

La Modelización como objeto de estudio de la Didáctica de las Ciencias va cogiendo fuerza desde la última década del siglo pasado a medida que se ha incorporado el aprendizaje basado en modelos que busca el protagonismo de los estudiantes en la construcción/reconstrucción crítica y cambio de sus modelos mentales para interpretar el mundo. Sin embargo, a pesar de que la modelización es un objeto de estudio en auge en la Didáctica de las Ciencias, todavía no resulta un enfoque mayoritario. Así, un estudio realizado por Campbell et al. (2015) sobre la importancia de la modelización encontró que solo uno de cada diez artículos analizados contenía información relacionada con las pedagogías de la modelización (*Modeling Pedagogies*). Pero en cierta manera en la Didáctica de las Ciencias, aunque el objeto de estudio directo no sea investigar el proceso de modelización, este está presente cuando se evalúa el impacto en el aprendizaje de la indagación, porque indagar siempre exige usar modelos.

En la actualidad la Modelización va tomando cada vez más peso en la Didáctica de las Ciencias, no solo como forma de favorecer la evolución de los modelos mentales (Gobert y

Buckley, 2000), sino también por la oportunidad que supone para el aprendizaje científico la aplicación de estos modelos en la inmersión de los estudiantes en prácticas científicas auténticas (Gilbert, 2004). Los procesos de modelización se contraponen al enfoque memorístico reproductivo de la enseñanza de las ciencias en la que los estudiantes son espectadores pasivos de exposiciones magistrales y consumidores de actividades reproductivas. La modelización resulta muy interesante en contextos de aprendizaje situado porque estos exigen aplicar modelos tanto para comprender ideas científicas como a entender los procesos implicados en la experimentación, análisis y argumentaciones para alcanzar esas ideas (Schwarz y White, 2005).

Desde el punto de vista metodológico modelizar comporta una serie de procesos estrechamente relacionados con los componentes propios de la metodología de la investigación científica: plantear problemas, formular predicciones en forma de hipótesis, recoger y analizar información para comprobarla, elaborar nuevas ideas y explicaciones, etc. (Justi y Gilbert, 2002). Esta metodología implica involucrar al alumnado en prácticas auténticas de modelización sobre objetos de conocimiento y/o fenómenos que les resulten familiares y debe implicarse activamente teniendo que buscar información, aportar ideas y tomar decisiones (Oliva, 2019). En estas operaciones epistémicas de modelización los estudiantes desarrollan la competencia científica al usar modelos para interpretar datos y evidencias, viéndose al mismo tiempo en la necesidad de revisar y cambiar esos modelos al tiempo que los usan para tener que reconstruir esos modelos con los que inician el proceso hasta llegar a la creación de nuevos modelos Justi y Gilbert (2002) con los que abordarán de forma más eficaz cualquier otra situación problemática de la misma naturaleza.

2.1.4.4 La competencia de modelización desde la Metacognición

La competencia de modelización incluye un conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémico que permiten trabajar con los modelos de la ciencia escolar para hacer reelaboraciones a partir de reflexionar, hablar y opinar sobre su uso para buscar explicar explicaciones e interpretaciones. Por eso la competencia de modelización permite a los estudiantes interiorizar modelos de ciencia escolar como modelos mentales útiles de los que pueden llegar entender su valor, su utilidad, su carácter aproximativo y cambiante y, también, sus limitaciones (Oliva, 2019). Entender así la competencia de modelización significa atribuirle las dimensiones integrantes de la competencia científica, y ligarla en esas dimensiones a otras competencias como las implicadas en la indagación y la argumentación en ciencias (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras-Pérez, 2012).

En análisis sobre los componentes internos de las prácticas de modelización realizados por Papaevripidou et al. (2014) y en estudios sobre la competencia de modelización realizados por Oliva (2019) se destaca su capacidad para construir modelos, para usarlos en descubrimientos, explicaciones y predicciones de fenómenos, para compararlos y evaluar el que mejor funciona para determinado tipo de explicaciones, lo que implica saber identificar sus limitaciones

Las prácticas a través de las cuales se desarrolla la competencia de modelización se apoyan en procesos de Metacognición orientados a expresar la percepción adecuadamente, la naturaleza y el alcance de cada modelo mediante el análisis y uso del conocimiento

epistémico vinculado al modelo cuando se aplica para explicar situaciones, procesos o fenómenos particulares (Nicolaou y Constantinou, 2014).

La argumentación metacognitiva en clases de ciencia permite vincular de forma eficaz la modelización con el desarrollo de actividades de metaconocimiento. Entre las direcciones de los esfuerzos que Tamayo-Alzote (2006) señala para el desarrollo de modelos destacan la selección de actividades de aula que potencien el desempeño argumentativo autorregulado de los individuos estudiantes y el diseño de instrumentos y técnicas de investigación que nos permitan acercamientos cada vez más rigurosos al estudio de esta categoría. Este planteamiento lo formula entendiendo el conocimiento como la comprensión que tienen las personas sobre sus propios procesos cognitivos. En esa línea la metacognición implica la habilidad para monitorear, evaluar y planificar nuestro propio aprendizaje.

Desde la perspectiva de vincular la modelización en ciencias con la metacognición resultan útiles los estudios de Giere (1992). Este autor postula que la argumentación en ciencias es un proceso de elección entre modelos y teorías para explicar los fenómenos de la realidad. En los procesos de metaconocimiento que se pueden usar para evaluar los modelos para su adecuada selección destacan las prácticas discursivas del alumnado en las que se articulan componentes de la estructura de la argumentación en la línea de conseguir procesos de modelización. Esto se puede conseguir haciendo converger los conceptos científicos con la práctica discursiva para que el desarrollo de la argumentación permita percibir las características de los modelos. A partir de la evaluación de la coherencia y capacidad explicativa de esos modelos mentales iniciales que evidencia la argumentación, el enfoque metacognitivo permite construir procesos didácticos que contribuyan a la transformación de dichos modelos. De esa forma se puede conseguir que avancen hacia modelos más evolucionados por su capacidad explicativa al usarlos como respaldo de sus justificaciones y conclusiones en el proceso de la argumentación. En ese sentido, aprender a argumentar en el aula de ciencias requiere del conocimiento, de la conciencia y de la regulación, intencionada y consciente, de la acción argumentativa. En el ámbito educativo, la metacognición es necesaria para el logro de habilidades o competencias de alto orden (Sánchez-Castaño y Castaño-Mejía, 2015). Estas prácticas de argumentación metacognitivas son útiles en actividades como la solución de problemas por parte de los estudiantes (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012) que implican el uso en los procesos de argumentación, facilitando su aplicación la evaluación del modelo con las consiguientes modificaciones en su evolución hacia modelos mentales con mayor capacidad de explicación e interpretaciones

El desarrollo de actividades de metaconocimiento para el aprendizaje científico en contextos de argumentación supone conocer cómo los estudiantes argumentan para construir el conocimiento en el aula y cómo son las interacciones argumentativas entre docentes y estudiantes. Se usa así la metacognición en función de caracterizar los procesos relacionados con la construcción de conocimiento y el control que sobre estos se tiene. Aprender cierta habilidad en profundidad requiere tener conocimiento, regulación y conciencia de lo aprendido. En otras palabras, el logro de aprendizajes en profundidad está necesariamente acompañado de procesos auto-reguladores por parte de los estudiantes. Por eso argumentar desde un marco metacognitivo en la orientación de la modelización implica considerar de manera consciente e intencionada ciertas estrategias metacognitivas que se ponen en escena en el mismo acto argumentativo. Estos procesos de reflexión metacognitiva sobre la argumentación llevan a que los estudiantes gradualmente tengan más conocimiento y control tanto del proceso argumentativo en sí mismo, como del proceso metacognitivo que se

vinculan a este proceso de modelización en las clases de ciencias. Esto requiere del conocimiento, de la conciencia y de la regulación, intencionada y consciente, de la acción argumentativa (Sánchez-Castaño y Castaño-Mejía, 2015)

El desarrollo de la modelización a través de actividades de metacognición en contextos de desarrollo de estrategias discursivas de argumentación permite que los estudiantes vayan reflexionando a medida que se construye el discurso colectivo mediante actividades colaborativas acerca de sus posturas teóricas y de los procesos asumidos en el debate. El desarrollo de dichas actividades colaborativas les permitirá buscar recursos en el momento de argumentar, con el fin de fortalecer su competencia en el desarrollo del debate (Lemke, 1997). Actividades de metacognición de esta naturaleza les permiten asumir acciones en intervenciones del propio debate que les posibilitarán orientar la actividad. En una orientación así de las actividades de modelización desde el enfoque de la metacognición resulta interesante introducir contextos de argumentación con una tendencia metacognitiva desde el sentir- pensar-actuar (Tamayo-Alzote 2006).

2.1.4.5 Recursos y estrategias para trabajar la modelización en las aulas

Los modelos escolares son muy importantes para trabajar la enseñanza de las ciencias. Se proporcionan en formatos diversos: textos escolares, imágenes y animaciones proyectadas, maquetas, etc. Se presentan versión simplificada y adaptada a la edad mental mediante una transposición didáctica del modelo científico. Cuando se presentan en un contexto de indagación y de investigación educativa adquieren un importante valor como recursos e instrumentos retóricos diseñados para la creación y validación de modelos mentales coherentes con los modelos de ciencia escolar (Gilbert y Justi, 2016).

Como los modelos de ciencia escolar proceden de la transposición didáctica de los propios de la ciencia deben identificarse los que son más eficaces como recursos didácticos para la modelización. Entre las que se muestran más eficaces se pueden destacar los de las tres clases establecidas por Nersessian (2007): las imágenes, las analogías y los experimentos mentales. A su vez estos se presentan en diferentes formatos como infografías, maquetas, animaciones, modelos mecánicos etc. Las clases y formatos dependen del contexto de aprendizaje, pero todos adquieren un papel destacado en la construcción del conocimiento de en las clases de ciencias (Duit, 1991). Por eso los diferentes tipos de modelización suelen estar presentes en los de modelos de ciencia escolar que se usan como recursos didácticos por sus cualidades como instrumentos críticos en la construcción de significados que lleven a avances en términos de modelos de mentales generados mediante tareas de indagación en el aula. Para conseguir estos recursos didácticos para la modelización en la ciencia escolar es importante investigar sobre buenas prácticas en las explicaciones del profesor de ciencias. En estas investigaciones se debe prestar especial atención a aquellas que combinan de forma hábil y equilibrada conceptos, ejemplos atractivos extraídos de la vida diaria, pruebas experimentales, y recursos múltiples y variados dirigidos a movilizar la imaginación y el desarrollo de modelos mentales dinámicos (Treagust y Harrison, 2000).

En el sistema educativo español las imágenes e ilustraciones en los libros de texto tienen un papel relevante en las clases convencionales de ciencias, favoreciendo que los estudiantes puedan construir un modelo mental mientras leen. Por eso son tan importantes las

ilustraciones de transposición de modelos científicos en los libros de texto escolares, contribuyendo a mejorar la comprensión de la lectura del texto (Perales y Jiménez, 2002).

El desarrollo de las TIC aplicadas a la educación escolar desde la última década del siglo pasado hasta la actualidad han incorporado las simulaciones y animaciones digitales como importantes recursos para la modelización en la enseñanza de las ciencias. Ya más recientemente empiezan a tomar fuerza la realidad virtual o aumentada, que con el desarrollo de animaciones 3D y aplicaciones de geolocalización, proporcionan una dimensión dinámica a los procesos de modelización, permitiendo ir más allá de la mera representación estática de sistemas o fenómenos (Merino et al, 2015).

En la ampliación de las opciones convencionales de modelización en las clases de ciencias es interesante investigar sobre el desarrollo de experimentos mentales. Estos pueden actuar como un recurso muy ágil, dinámico y de clara independencia de la necesidad de tener recursos singulares y/o de complejo acceso a las aulas destacan los experimentos mentales como recursos de modelización. Para ello solo es necesario situar a los estudiantes en condiciones de recreación imaginativa de experimentos mentales. Esta estrategia de modelización mejora si se acompaña de otros recursos de modelización como infografías o animaciones. Interesa que estos acompañamientos intuitivos se vinculen a experiencias sensoriales vividas buscando conexiones lógicas para explicar procesos o fenómenos sin tener la necesidad de recurrir a la realización de experimentos, que para determinadas modelizaciones podrían ser poco viables en el contexto escolar (Velentzas y Halkia, 2013). Se trata de modelos dinámicos que conectan con facilidad y agilidad con la mente del estudiante utilizando observaciones o la descripción de un determinado escenario o contexto ficticio sobre el que se realizan preguntas que dirijan su razonamiento hacia la búsqueda de respuestas lógicas que el estudiante construya desde sus experiencias cotidianas y los conocimientos que posee sobre ese experimento mental (Oliva, 2019).

2.1.4.6 Selección y organización de contenidos para trabajar la modelización en las aulas

Los procesos de enseñanza y aprendizaje de los modelos escolares requieren que los docentes adopten decisiones que permitan promover una evolución en los modelos de los estudiantes. Dichas decisiones afectan, a la selección de contenidos que se deben enseñar y a la forma como se organizan. Para ello tienen que afrontar transposiciones didácticas de los modelos conceptuales de la ciencia que están organizados como tramas de ideas abstractas organizadas y jerarquizadas para que sean capaces de comprender e intervenir en los fenómenos y procesos cuya comprensión aborda la ciencia. En esta transposición didáctica resulta de utilidad el diseño de procesos de indagación en el aula a desarrollar en contextos escolares activos y reflexivos para el trabajo de los estudiantes, quedando ubicado el docente en labores consistentes en monitorizar. Estos diseños se concretan en una secuencia de actividades enseñanza-aprendizaje concatenadas en fases de complejidad creciente (explorar, crear, probar, evaluar y revisar modelos) dentro de un conjunto global de la indagación conducida por un hilo conductor que da sentido e integridad al conjunto global implicado en la indagación (Oliva, 2019).

Por tanto, la modelización actúa como facilitador de la selección y organización de contenidos adecuados para el desarrollo de indagaciones en los procesos de enseñanza –

aprendizaje de conocimientos científicos. Los diseños desarrollados en coherencia con la modelización facilitan los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias en contextos de indagación al proporcionar criterios para la selección y organización de contenidos de referencia para el diseño de secuencias de actividades de enseñanza y aprendizaje de modelos. Estas planificaciones de indagaciones que conducen a la enseñanza y aprendizaje de modelos ponen énfasis en el carácter social de los procesos de elaboración de modelos, destacando el papel de las interacciones estudiante-docente y estudiante-estudiante que faciliten el aprendizaje significativo. Son coherentes con las teorías del aprendizaje socioconstructivista que fundamentan actividades de aprendizaje y estrategias instruccionales dirigidas a facilitar la construcción de modelos mentales tanto en individuos como en grupos (Gobert y Bucley, 2000). Para modelizar los estudiantes siguen diferentes estrategias como argumentar para explicar fenómenos, procesos, formular hipótesis y predicciones que puedan poner a prueba y evaluar diferentes modelos que se les presentan para elegir la mejor opción (Campbell et al., 2015).

2.2 CIENCIA SOBRE EL USO Y GESTIÓN SOSTENIBLE DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2.2.1 Influencias mutuas entre el clima y el suelo

Según el Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), el calentamiento de la Tierra es inequívoco, observándose desde la década de 1950 una serie de cambios sin precedentes. La acción del ser humano es clara e incuestionable en el precipitado aumento de la velocidad del cambio climático que se ha producido en las últimas décadas (IPCC, 2014). Algunos de los cambios que han tenido lugar en el sistema climático son el calentamiento de la atmósfera y de los océanos, la disminución de los volúmenes de hielo y nieve, la elevación del nivel del mar y episodios de fenómenos meteorológicos extremos. Estos cambios a escala global se deben principalmente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen humano (IPCC, 2014).

Las influencias mutuas entre clima y suelo y sus implicaciones para nuestra seguridad alimentaria quedaron plasmadas en el Informe publicado el 7 de agosto de 2019 por el IPCC. Se trata de un Informe Especial sobre cambio climático, desertificación, degradación del suelo, gestión sostenible del suelo, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. Recoge el conocimiento científico existente hasta la fecha sobre dichos temas y destaca su implicación en términos de seguridad alimentaria debido a que las tierras de cultivo, que según el citado informe cubren un 12-14% de la superficie terrestre, son fundamentales para la nutrición de una población en constante crecimiento y que, en la actualidad, ya es del orden de los ocho mil millones de habitantes.

Las influencias entre el suelo y el clima son mutuas, y por tanto determinantes en nuestra nutrición. Entre las causas de la influencia del suelo en el clima destacan las que son el resultado de su manejo y uso humano directo, como la deforestación, la urbanización o la agricultura de riego. En esas influencias mutuas entre el clima y el suelo el cambio climático está afectando a la biodiversidad de los ecosistemas terrestres, a la estructura y productividad. A pesar de que se está observando un aumento de vegetación por el aumento de dióxido de carbono con un aumento global de entre un 22-23% en los últimos 20-30 años (Dupar, 2019), en paralelo se observa una disminución en el contenido nutricional del suelo agrícola.

2.2.2 Influencia del cambio climático sobre el estrés térmico e hídrico del suelo

Una de las principales problemáticas con las que se encuentran los suelos actuales en el contexto del cambio climático tiene que ver con el estrés térmico. En el informe publicado por el IPCC (2019) destaca que la temperatura media sobre la superficie terrestre entre el periodo 1999-2018 fue 1.41°C mayor que en el periodo 1881-1900. En paralelo a este aumento de la temperatura de la superficie terrestre se observaron cambios en el inicio y finalización de las estaciones de cultivo, reducciones en el rendimiento de los cultivos, disminución de la disponibilidad de agua dulce generando estrés hídrico sobre la vegetación.

El aumento en la temperatura del suelo debido al cambio climático puede acabar afectando al equilibrio dinámico que lleva a que el suelo actúe como sumidero de C. Entre los datos citados en el marco y contexto del informe del IPCC (2019), destaca que en el periodo 2008-2017 se estima que el suelo actuó como un importante sumidero de CO₂, llegando a secuestrar aproximadamente el 30% de las emisiones totales de origen antropogénico. Los suelos representan aproximadamente 2/3 partes del carbono (C) de los ecosistemas terrestres como C que forma parte de la materia orgánica, lo que significa que el suelo actúa en el ciclo de carbono como sumidero de C en un equilibrio dinámico que depende del clima. Pero el laboreo en el contexto actual de calentamiento del suelo supone un mayor riesgo de mineralización de la materia orgánica que fertiliza el suelo, pudiendo así perder fertilidad al tiempo que estaría retroalimentando el problema, puesto que el suelo supone el segundo sumidero de carbono del planeta, solo superado por los océanos (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015). Según Lefèvre et al. (2017) es probable que el aumento de la temperatura y de la formación de eventos extremos conduzcan a pérdidas de la materia orgánica del suelo, generando procesos acelerados de degradación que conduzcan a pérdidas de carbono orgánico del suelo.

Otro factor impacto del cambio climático sobre el suelo tiene que ver con los efectos del aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas, que también impactan de forma severa en el suelo. Lluvias más intensas conducen a mayores inundaciones en la superficie y erosión del suelo, mayor estrés hídrico de las plantas y menor seguridad hídrica. Las fuertes precipitaciones e inundaciones pueden retrasar la siembra, aumentar la compactación del suelo y causar pérdidas de cultivos por anoxia, compactación de las raíces e impulso del aumento de las enfermedades en el sistema radicular. Al mismo tiempo el aumento de las precipitaciones supone también un incremento del arrastre de componentes del suelo, con pérdidas de sales minerales necesarias para la calidad de la fertilidad del suelo (Ongley, 1997). Por tanto, las inundaciones superficiales del suelo en la disminución de la calidad de la fertilidad del suelo debido a la pérdida de nutrientes y efectos negativos sobre la comunidad microbiana edáfica.

El citado informe concluye que existe una cierta relación entre las concentraciones crecientes de GEI con el estrés térmico e hídrico del suelo, porque dicho aumento de GEI provoca el cambio climático que está modificando los regímenes de temperatura y precipitación pluvial en lo regional. A su vez ese cambio climático propicia situaciones extremas de sequías e inundaciones que aceleran los procesos de mineralización, aumentando así la concentración de GEI y retroalimentando el problema del cambio climático (IPCC, 2019). Por tanto, el estrés térmico e hídrico alteran los procesos que regulan los suelos pudiendo ocasionar que los agrosistemas pasen de sumidero de C a fuentes de GEI, provocando así efectos adversos sobre el propio suelo (Caviglia et al., 2016).

Por eso para la mitigación y adaptación al cambio climático y atender a los riesgos de seguridad alimentaria que derivan del calentamiento global, urge atender las necesidades de reconstruir las reservas de carbono en el suelo, así como de la cobertura vegetal, y por otro la disminución del CO₂ atmosférico para conseguir la desaceleración del calentamiento global (Gabathuler et al., 2009).

2.2.3 Degradación del suelo por desertificación y cambio climático

La degradación ecológica del suelo afectará a su fertilidad y productividad (Dupar 2019) y por tanto a su productividad. Las causas son diversas, y en todas ellas puede incidir el cambio climático. Entre los factores que inciden en este proceso se pueden destacar aquellos factores que conducen a su desertificación como puede ser la sequía e incendios. Esto es así porque el aporte de materia orgánica y las redes formadas por las raíces dotan al suelo de mayor resistencia frente al arrastre o al desplome. Los incendios eliminan esa red radicular y la materia orgánica. Eso asociado a los eventos extremos de lluvia de elevada intensidad y a la escasa recurrencia de precipitaciones, incrementa la erosión (García-Fayos, 2008).

El informe IPCC (2019) establece que la degradación del suelo avanza en la dirección de una tendencia negativa en su condición, causada directa o indirectamente por procesos antropogénicos y sobre todas las causas puede influir el cambio climático. Esta degradación implica al menos la reducción o pérdida a largo plazo de al menos uno de los siguientes aspectos: productividad biológica, integridad ecológica o valor para los humanos. Este Informe Especial del IPCC (2019) señala que, aunque se trata de una amenaza global, aquellas regiones más empobrecidas serán las más vulnerables a este impacto, hecho que resulta especialmente preocupante debido al largo periodo necesario para la restauración natural del suelo tras su degradación y en determinados casos la imposibilidad de su restauración. La degradación del suelo es por lo tanto un problema ambiental que contribuye de forma importante a las incertidumbres asociadas a la mitigación del cambio climático por parte de los ecosistemas terrestres. Aunque el cambio climático afecta a todo el planeta, sus efectos sobre la desertificación del suelo, afecta de forma especial a las tierras secas y a sus habitantes (López, 2006), que a su vez se corresponde con regiones agrícolas pobres. Tanto el cambio climático como la desertificación son problemas ecológicos, económicos y sociales de una importancia grande para la seguridad alimenticia en una población humana en constante crecimiento.

Tanto el cambio climático como la desertificación del suelo son problemas ecológicos, económicos y sociales con riesgos crecientes para la seguridad alimentaria de la población mundial (Kjellen, 2001). En esa línea preocupa el hecho de que haya superado el porcentaje del 35% de áreas desérticas que el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2012) había calculado que se alcanzaría en la segunda década del siglo XXI. Ahora la desertificación ya es una realidad visible en muchos territorios, superando ya ese porcentaje en unos territorios en los que además están viviendo millones de personas, en condiciones de persistente sequía y escasez de alimentos por desertificación y pérdida de suelo fértil y productivo, que apuntan a escenarios de refugiados climáticos (IPCC, 2019).

2.2.4 Efectos de la desertificación y cambio climático sobre la agricultura

La intensificación del calentamiento de la superficie terrestre en las últimas décadas está teniendo implicaciones preocupantes para la desertificación de los agrosistemas con sus consecuencias alarmantes sobre la seguridad alimentaria. El informe del IPCC (2019) otorga una confianza muy alta a que la degradación del suelo sea uno de los desafíos más grandes y urgentes para la humanidad. Prevé que la desertificación y el cambio climático lleguen a causar reducciones en la productividad de cultivos y del ganado, modificando la composición de especies de plantas de los ecosistemas y reduciendo así la diversidad biológica en las tierras secas. También prevé una expansión más rápida de algunas especies de plantas invasoras en algunas regiones, lo que implicaría impactos en los cultivos, en los ecosistemas y en los agrosistema.

El cambio climático puede incrementar otro tipo de impactos locales sobre el suelo sustrato de los agrosistemas. Este es el caso de la introducción de polvo y arena en los movimientos en el clima por la arena y el polvo mineral que se movilizan con frecuencia desde tierras secas con escasa vegetación, formando las denominadas "tormentas de arena o polvo" que son cada vez más frecuentes en las regiones sometidas al aumento de los efectos regionales del cambio climático. En relación a la aridez y desertificación del suelo, el IPCC (2019) proyecta, a nivel mundial, que entre el 50% y el 80% de la superficie terrestre experimentará situaciones extremas de calor significativamente más intensas que las registradas históricamente. Esto es especialmente preocupante porque la tasa de erosión del suelo de los campos agrícolas ya es del orden de entre 380 veces (labranza convencional) y 16 veces (labranza cero) sobre la tasa natural de formación del suelo (Debonne et al., 2019). Solo por ese motivo ya se justifica la urgencia de formar a los escolares y a la ciudadanía en general sobre las relaciones entre las Ciencias del Suelo y las Ciencias del Cambio Climático.

Las olas de calor pueden llegar a ser extremadamente largas (más de 60 días consecutivos) y frecuentes (una vez cada dos años) en Europa, América del Norte, América del Sur, África, Indonesia, Oriente Medio, Asia meridional y sudoriental y Australia. En este escenario es probable que se extiendan las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas-secas del planeta con los consiguientes riesgos de pérdidas de cultivos. Entre estos riesgos está la salinización debido a una mala gestión del sistema de irrigación de los terrenos de cultivo. Terrenos de zonas cálidas que eran sistemas agrícolas productivos con el sistema de regadío del que disponían, con el cambio climático están perdiendo su productividad por desertificación debido no solo a que el agua allí se está agotando, sino también, porque en esas nuevas condiciones climáticas, la intensa evaporación del agua del suelo arrastra hacia la superficie las sales del suelo, convirtiendo a esos suelos en terrenos infértiles como ha sucedido en las antiguas culturas mesopotámicas (Alonso, 2013).

Estas proyecciones anuncian unas condiciones perjudiciales para la productividad de cultivos. Pero el uso agrícola del suelo está produciendo también una retroalimentación positiva en el problema del cambio climático por el uso agrícola del suelo. También cabe destacar el uso excesivo de abonos. La agricultura ya es responsable de aproximadamente dos tercios de las emisiones de N_2O . A parte del aumento de la producción de fertilizantes sintéticos de N a partir de mediados del siglo XX también está influyendo en el exceso de abonado el aumento de la producción de estiércol (Hernández-Tapia, 2019).

2.2.5 Interacciones del cambio climático y del uso de los fertilizantes en los impactos sobre los ecosistemas y la seguridad alimentaria

Entre los grandes problemas ambientales sinérgicos con el cambio climático que se derivan de ese uso agrícola, destaca el abuso de fertilizantes (Gaioli y Blazquez, 2016). De hecho, el abuso de fertilizantes en la agricultura intensiva ya es uno de los mayores problemas para la calidad del agua, un recurso vital que, a su vez, se ve disminuido por el cambio climático (Debonne et al., 2019).

Las superficies de áreas agrícolas se han incrementado como consecuencia de la demanda derivada del aumento poblacional, crecimiento económico y aumento del consumo de productos de origen animal (Duarte et al., 2006). Desde 1961, el uso de nitrógeno inorgánico como fertilizante se incrementó por nueve veces. Este aumento y las implicaciones del cambio climático aumentaron la contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas afectando a la calidad del agua (Camargo y Alonso, 2007).

El cambio climático está generando aumentos en la temperatura del agua, y este impacto sumado al aumento en las concentraciones de nutrientes, pueden impulsar e intensificar la proliferación de los productores primarios, con los consiguientes efectos, una mayor ocurrencia de los procesos de eutrofización y de una mayor abundancia de algas tóxicas (Smith, 2003). Esto puede tener efectos alarmantes sobre la salud humana cuando en los embalses que abastecen de agua a las ciudades se suman el aumento de temperatura del agua con elevadas concentraciones de nutrientes. En esas condiciones pueden verse favorecidas la proliferación y predominancia de las cianofíceas en el fitoplancton que pueden llegar a producir una proliferación de poblaciones productoras de cianotoxinas (Hitzfeld et al., 2000).

Para evitar o reducir en lo posible el desarrollo de estos problemas derivados de los efectos, urge que las actividades humanas disminuyan drásticamente sus aportaciones de nitrógeno al medio ambiente y eso exige formar a la ciudadanía del siglo XXI para afrontar este reto. De lo contrario, los efectos ecológicos y toxicológicos asociados a este tipo de contaminación, en el contexto del cambio climático, puede afectar a la estabilidad de los ecosistemas y la salud humana (Iglesias et al., 2005).

2.2.6 La urgencia de respuestas a la acción del cambio climático sobre la degradación del suelo

El Informe Especial sobre Cambio Climático y Tierra (IPCC, 2019) asigna una confianza muy elevada al hecho de que la degradación del suelo afecta negativamente a los medios de vida de las personas, calculando que entre 1.3 a 3.2 mil millones de personas afectadas viven en situación de pobreza en países en vías de desarrollo. La tendencia del cambio climático apunta a un empeoramiento de la situación, pues el informe otorga una confianza muy elevada a las relaciones entre los cambios en el uso de la tierra y el manejo insostenible de la misma, como causas humanas directas de la degradación de la tierra. Por eso el objetivo de frenar la desertificación tiene que ser ya uno de los retos principales y la clave para conseguirlo radica en diferenciar aquellas áreas no desertificadas de referencia. Las áreas áridas representan ya un 46% de la superficie terrestre y alrededor de 3 mil millones de personas viven en tierras secas (IPCC, 2019).

El cambio climático pone al suelo ante estos retos claves sobre los que urgen respuestas que supongan un aumento del contenido de carbono orgánico del suelo, la reducción de los procesos de salinización, y evitar su erosión, reduciendo los deslizamientos de tierra y riesgos naturales. La relevancia de las retroalimentaciones entre el suelo y el cambio climático en los impactos negativos sobre la biodiversidad y la seguridad alimentaria demanda de forma urgente que la ciudadanía se comprometa con el reto de potenciar la restauración del suelo para hacer frente al cambio climático, en especial evitando su reducción y la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera debido a los procesos de mineralización. También interesa una concienciación ciudadana sobre la necesidad de realizar intervenciones coherentes con la mitigación de los impactos en el suelo y en el clima. Por eso interesa aproximar a los estudiantes al conocimiento de estrategias de reducción de la contaminación, incluida la acidificación y la salinización, así como aquellas relacionadas con la conservación de la biodiversidad de sus ecosistemas.

En este sentido el Informe Especial Cambio Climático y Tierra (IPCC, 2019), establece que interesa el conocimiento, la concienciación y el compromiso en evitar que la introducción de las soluciones bioenergéticas como estrategia de mitigación del cambio climático afecten al suelo fértil. Además, es necesario llevar a cabo mejoras en la agricultura, agrosilvicultura y en la silvicultura entre las caben destacar:

- a. En la agricultura: manejo mejorado de tierras de cultivo, tierras de pastoreo, ganado.
- b. Agrosilvicultura: evitar la conversión de pastizales en tierras de cultivo; llevar a cabo una gestión integrada del agua.
- c. En bosques: manejo mejorado de bosques y restauración forestal; reducción de la deforestación y degradación; repoblación forestal con criterios ambientales.

2.3 CIENCIAS DEL SUELO Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CURRÍCULO Y EN LA INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS.

2.3.1 Las ciencias del suelo en el currículo de la secundaria y en la investigación en Didáctica de las Ciencias

2.3.1.1 Las ciencias del suelo en el currículo de la Secundaria

La relevancia que tiene el suelo como recurso no renovable en la sociedad del cambio climático no es coherente con el espacio que tiene este ámbito de conocimiento en el currículo. Aun así, El Real decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato, introduce el suelo con claridad en la formación básica común de todos los ciudadanos al contemplarlo en el Bloque 6 “Los ecosistemas” que tiene como uno de sus contenidos “El suelo como ecosistema”. Para el segundo ciclo, en 4º de la ESO en la materia de Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional en el “Bloque 2. Aplicaciones de la ciencia en la conservación del medio ambiente” figura el estándar de aprendizaje 3.1 Relaciona los efectos contaminantes de la actividad industrial y agrícola sobre el suelo.

Ya en Bachillerato el Real Decreto de Currículo básico abre la dimensión transversal de las Ciencias del Suelo a materias como Geografía y Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. En Geografía de 2º de Bachillerato se recoge la enumeración y descripción de los elementos constitutivos de los diferentes tipos de suelo de España y se localiza en un mapa de España los distintos tipos de suelos peninsulares e insulares. También aborda el conocimiento de los principales procesos edafogénéticos y su relación con los tipos de suelos.

En la materia de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de 2º de Bachillerato se incluyen las Ciencias del Suelo en el bloque 6 titulado ‘Circulación de la materia y de la energía en la Biosfera’. Sobre el suelo incluye la clasificación de sus tipos relacionándolos con la litología y el clima que los origina, la valoración del suelo como recurso frágil y escaso, la identificación del grado de alteración de un suelo aplicando distintas técnicas de valoración. Se utiliza todo ello para analizar los problemas ambientales producidos por la deforestación, agricultura y ganadería.

En la concreción de estas enseñanzas mínimas a Galicia el Decreto 86/2015, de 25 de junio, por el que se establece el currículo de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato en la Comunidad Autónoma de Galicia, deja prácticamente igual lo contemplado sobre las Ciencias del Suelo para Bachillerato. Pero, sin embargo, genera buenas oportunidades curriculares para la introducción de las Ciencias del suelo en las enseñanzas básica y común de todos los ciudadanos gallegos al dedicarle todo el Bloque 5 de Biología y Geología de 3º de la ESO, que lleva por título ‘El suelo como ecosistema’. Este bloque incluye el reconocimiento de que el suelo resulta de la interacción dentro los componentes abióticos y bióticos, señalando algunas interacciones, y aborda su fragilidad y necesidad de protegerlo. Incorpora también visión transversal hacia la sostenibilidad del suelo como recurso no renovable, incorporando conexiones propedéuticas para las exigencias curriculares que requiere el estudio de las Ciencias del suelo en el Bachillerato.

2.3.1.2 Las ciencias del suelo en la investigación de la Didáctica de las Ciencias.

En la Didáctica de las Ciencias, son escasas las investigaciones relativas a la enseñanza y aprendizaje sobre temas relativos a las Ciencias del Suelo (Fernández et al., 2017). Esto puede deberse a la poca presencia del tema en el currículo de las enseñanzas básicas, especialmente antes de la entrada en vigor de las enseñanzas mínimas recogidas en el Real Decreto 1105/2014.

Una revisión de la literatura del año posterior a su entrada en vigor (Fernández, 2015) nos lleva a afirmar que siguen siendo escasos los estudios que se centran en la enseñanza aprendizaje de temas referidos a la Edafología. Sin embargo, sí resulta más frecuente encontrar trabajos referidos a otros temas de las Ciencias de la Tierra que tratan, desde el punto de vista didáctico, terremotos, volcanes, fósiles etc. Fernández (2015) analiza las revistas como el *Spanish Journal of Soil Science* (SJSS) y el *Soil Science Society of America Journal* (SSSAJ) y observa que apenas publican artículos sobre educación. Una excepción es la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS), que recomienda recursos para emplear en las clases de ciencias a la hora de trabajar el tema del suelo proponiendo, entre otros, los del *Natural Resources Conservation Service Soils* (NRCS) del *United States Department of Agriculture*.

El origen y la persistencia de las ideas alternativas que podemos detectar en los estudiantes se explican, además de por las experiencias cotidianas, por el lenguaje de la calle y de los medios de comunicación, por la existencia de errores conceptuales en algunos libros de texto, o por otros aspectos relacionados con la metodología utilizada en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Carrascosa, 2005). Las que proceden del entorno escolar pueden ser más resistentes al cambio, al llegar revestidas de la autoridad académica que se le supone a los docentes y a los materiales. Cuando proceden de una falta de actualización docente, son antiguas concepciones de la ciencia que llegan con una coherencia interna, que sumado a la autoridad académica que se le supone a la fuente, pueden ser resistentes al cambio necesario. En este caso las ideas alternativas elaboradas por los estudiantes, de no coincidir con los conceptos considerados correctos científicamente, pueden constituir obstáculos epistemológicos (Astolfi, 1988), motivo por el que se deben movilizar hacia el cambio necesario.

Como señalan Fernández et al. (2017) entre los primeros estudios sobre ideas de los estudiantes sobre Ciencias del Suelo destaca el análisis de las ideas previas de estudiantes realizado por Happs (1981) mediante entrevistas y cuestionarios. Entre las preguntas presentadas al alumnado se encontraban: qué es el suelo y de dónde viene, cuántos años y qué profundidad tienen los suelos y qué cambios pueden presentar los mismos. Se observó que los estudiantes entienden el suelo como un medio para el crecimiento de las plantas o como hábitat de pequeños animales, y muchos de ellos presentan la idea de que los suelos siempre estuvieron ahí, o que tienen un origen volcánico. Los resultados de Happs (1981) son semejantes a los encontrados por Yus y Rebollo (1993) quienes buscan comprender los problemas de aprendizaje observados sobre el concepto de suelo en el alumnado de 12 a 16 años valiéndose para ello de un cuestionario. En este trabajo, se puso de manifiesto que los estudiantes tendían a usar el término “suelo” exclusivamente para designar la superficie que se pisa y que para referirse al suelo natural preferían utilizar el término de “tierra”, pudiendo derivar la polisemia de la acepción vulgar no coincidente con la científica en obstáculos para asimilar la epistemología básica. Estos autores ponen énfasis en que los estudiantes no consideran la existencia de procesos químicos (geoquímicos y bioquímicos) propios del suelo. En ese sentido, hacen la consideración de que el alumnado del estudio se encuentra muy alejado del paradigma actual según el cual el suelo se considera como un “microecosistema”, al cual no pueden acceder mientras no amplíen su visión de los procesos edafológicos.

Reyes-Sánchez (2012), analizando las concepciones sobre el suelo de alumnado de 5º y 6º de educación primaria, señala que los estudiantes tienen el concepto previo de que el suelo es tan solo un material que pisamos y que sostiene las construcciones.

Otra dificultad para la enseñanza y aprendizaje radica en la comprensión del tiempo geológico. Esta también la apuntó Happs (1981), quien expresó que los estudiantes no se plantean que el suelo tiene un origen y ha seguido un proceso de evolución. Por tanto, consideran que siempre estuvo ahí. Eso es extrapolable a todas las entidades geológicas, expresado sobre todo en términos de las rocas siempre estuvieron ahí. De acuerdo con el estudio de Fernández et al. (2017) en esto coinciden otros estudios como los de Álvarez y García (1996), Pedrinaci (1996) y Libarkin et al. (2005). Por tanto, muchos estudiantes consideran que el suelo y las rocas son tan antiguos como la tierra, lo que muestra ideas alternativas que configuran una perspectiva estática de los procesos geológicos. Se puede concluir que los estudiantes no perciben el suelo como algo dinámico ni tienen en cuenta las interrelaciones entre sus componentes. Tampoco tienen asimilado que en el suelo habitan

organismos responsables de la descomposición de la materia orgánica y, por tanto, agentes activos en el proceso de edafogénesis (Yus y Rebollo, 1993). Sobre la presencia de horizontes en el suelo, Yus y Rebollo (1993) encontraron que el alumnado los asociaba con los estratos sedimentarios.

2.3.2 Las Ciencias del Cambio Climático en el currículo de la secundaria y en la investigación en Didáctica de las Ciencias

2.3.2.1 Las ciencias del cambio en el currículo de la Secundaria

El cambio climático está presente en las enseñanzas mínimas establecidas en el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. En Ciencias de la Naturaleza de 1º ciclo de la ESO (1º a 3º ESO) se aborda la selección y el contraste de información, en colaboración grupal, acerca de algunas de las amenazas que, para el medio ambiente y la vida, entre las que se cita el cambio climático, la desertificación, etc. En la ESO aparece en la materia de Cultura científica de 4º de la ESO en el bloque de “Avances tecnológicos y su impacto ambiental”, en el que se aborda el reconocimiento del cambio climático, estableciendo sus causas. En las Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional de 4º de la ESO el currículo establece el contraste en qué consisten los distintos efectos medioambientales entre los que cita el cambio climático

En las materias de Bachillerato vinculadas a los departamentos didácticos de Ciencias Naturales, el cambio climático aparece en las enseñanzas mínimas establecidas en el Real Decreto 1105/2014 en la materia Geología de 2º de Bachillerato, donde se relaciona el cambio climático con la tectónica de placas, así como los cambios climáticos naturales en comparación al cambio climático introducido por el ser humano, comparándolos con la escala del tiempo geológico.

En el currículo básico de Bachillerato el cambio climático aparece también en la materia de Geografía de 2º de Bachillerato está presente en el bloque 3 de ‘biodiversidad climática y vegetación’, que incluye cómo afecta a España el cambio climático.

La concreción del currículo básico recogido en el Real Decreto 1105/2014 en el currículo de Galicia se desarrolló a través del Decreto 86/2015, de 25 de junio, por el que se establece el currículo de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato en la Comunidad Autónoma de Galicia, en el cual el cambio climático queda recogido en los mismos términos.

Para este estudio tiene relevancia una materia de libre configuración porque es el ámbito de aplicación en Bachillerato de las intervenciones didácticas sobre cambio climático objeto de estudio en esta investigación. Este tipo de materia queda recogida en el Real Decreto 1105/2014 y en su desarrollo en los correspondientes decretos de las comunidades autónomas, la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. (BOE, 04/05/06) [Modificada por la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, (BOE, 05/03/11) y por la Ley 4/2011, de 11 de marzo, complementaria de la Ley de Economía Sostenible, (BOE, 11/03/2011) y por la Ley 8/2013 de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa (BOE, 10/12/2013)], también conocida como LOE-LOMCE, que el sistema educativo español de la segunda década del siglo XXI recoge en el artículo 6, dedicado al currículo materias de libre configuración autonómica.

En el caso de Galicia, estas materias quedaron enmarcadas por la Orden del 15 de julio de 2015 por la que se establece la relación de materias de libre configuración autonómica de elección para los centros en las etapas de educación secundaria obligatoria y bachillerato, y se regula su currículo y su oferta. Esta Orden establece que los centros docentes concretarán, de ser el caso, su oferta de materias de libre configuración autonómica elegidas por ser impartidas dentro del horario establecido para la libre configuración del centro, oferta que formará parte del proyecto educativo del centro. Este horario el citado Decreto 86/2015 es de una sesión en 1º y 2 en 2º de ESO y en 1º de Bachillerato. También fija este tipo de materias en primerio de Bachillerato, donde deja el horario según la disponibilidad del centro, que en el caso de este estudio fue de dos sesiones a la semana. En diversos centros de Galicia se oferta la materia de libre configuración '*Climántica*' centrada en su totalidad en el cambio climático (Sóñora y Martínez, 2015).

2.3.2.2 El currículo de cambio climático en la materia Climántica de libre configuración

La argumentación relativa al cambio climático que se estudia surge en clases de Climántica, una materia de libre configuración de centro en determinadas escuelas de secundaria de Galicia. Esa materia se imparte en primero y segundo de la ESO (12-14 años) y en primero de Bachillerato (16-17 años). Este estudio en concreto se centró en primero de Bachillerato.

El proyecto Climántica nació con la finalidad de dar respuestas educativas transversales e interdisciplinares al cambio climático, teniendo como soporte teórico y metodológico la Educación Ambiental. Lo hace capacitando a los estudiantes para actuar como agentes de transferencia de la ciencia del cambio climático a la sociedad actuando como autores de productos de comunicación y sensibilización y actuando como agentes de comunicación oral mediante prácticas de laboratorio hacia la sociedad (Sóñora, 2008). En sus orígenes, a lo largo del curso académico 2006-2007, el proyecto desarrolló sus primeras actuaciones en varios centros de Educación Secundaria en Galicia, constituyendo el pilar educativo del Plan Gallego de Acción frente al Cambio Climático. En el curso 2008-2009 se incorporó a los centros de Educación Primaria y en algunas asignaturas de los títulos de Educación Social y Magisterio que se imparten en las Facultades de Ciencias de la Educación de Galicia, llegando así a todos los niveles del sistema educativo.

En el curso académico 2017-2018 Climántica ha llegado a más del 80% de los centros de Educación Secundaria en Galicia y a un 20% de los de Educación Primaria. Además, se ha implantado una asignatura de libre configuración en diversos centros educativos, estando incorporado en los proyectos educativos de centro de siete Comunidades Autónomas españolas y tiene centros piloto en México, Costa Rica, Argentina, Perú, Portugal, Polonia y Argentina; países en los ya se organizaron eventos orientados a la formación del profesorado y que han participan en los campus internacionales que se celebraron hasta el momento en España, Portugal y Costa Rica. Su dimensión internacional se ha visto reforzada por la recomendación para el uso docente formulada en el 2010 por el Enviado Especial de la Naciones Unidas para el Cambio Climático, así como por su diseño, por el patrocinio de la UNESCO otorgado por el Primer Campus Climántica Iberoamérica que se celebró en Costa Rica en abril de 2019 y por la participación en los proyectos europeos Climatatlantic-FEDER Intereg (2010-2012) y EduCO2cean-Erasmus+ (2016-2018) (Sóñora y García, 2020).

Desde sus inicios, el proyecto asumió el compromiso de realizar transferencias de sus resultados al conjunto de la ciudadanía. De ahí que ya en el curso escolar 2007-2008 incorporase a una red de 99 escuelas en el sistema de predicción meteorológica de Galicia (www.meteogalicia.gal). Simultáneamente se incorporó a una asignatura senior en la formación de adultos mayores que realiza la Universidad de Santiago de Compostela, habilitando –en febrero de 2007– una web colaborativa 2.0, en la que se adaptaron sus recursos didácticos a formatos interactivos y descargables como archivos *pdf*, de modo que pudiese informar y sensibilizar a cualquier persona. También en el curso 2007-2008 se inició la participación de los jóvenes como comunicadores del cambio global, mediante prácticas de laboratorio y simulaciones en ferias del cambio climático; además de convocar el primer congreso de autores de trabajos de sensibilización sobre sus evidencias, causas y consecuencias (Sóñora y García, 2020).

La incorporación del cambio climático al currículo de secundaria se inició en el 2007 a través de un proyecto interdisciplinar desarrollado en colaboración con MeteoGalicia, el centro de predicción meteorológica de Galicia, que situaba a los estudiantes como predictores meteorológicos, formándolos con un material interdisciplinar denominado “Climaeucambio” (Sóñora y Fernández, 2007), con una implantación en más de 200 centros educativos. El paso al currículo de Bachillerato que daría lugar posteriormente a la materia de libre configuración, en la que se desarrolló esta investigación, se inició en el curso 2008-2009 mediante el desarrollo de un modelo para implantar la totalidad de la materia “Ciencias para el Mundo Contemporáneo” conducido por el cambio climático, que se implantó al curso siguiente en centros educativos de nueve comunidades autónomas (Sóñora y García, 2020). Ambas propuestas avanzaron en la segunda década del siglo XXI hacia materias de libre configuración de centros cuyas programaciones fueron aprobadas por la Administración Educativa de la Xunta de Galicia.

Los objetivos de la materia de libre configuración Climántica de Primero de Bachillerato en cuyo currículo se centra esta investigación son:

- Describir los elementos del clima y la forma de establecer medidas en cada uno de ellos y su tratamiento para obtener conclusiones fiables desde el punto de vista climático.
- Caracterizar el dominio climático de Galicia y compararlo con otros de España en base a intercambios educativos a nivel de plataforma y presencial.
- Reconocer evidencias de impactos del cambio climático relacionándolos con sus causas y consecuencias.
- Buscar estrategias para la mitigación del cambio climático participando activamente en aquellas que le resulten familiares.
- Investigar los impactos del cambio climático con la colaboración de organizaciones e instituciones de investigación.
- Desarrollar estrategias de comunicación y sensibilización, aplicando todas las competencias clave, sobre problemáticas y retos ambientales, con una mención especial al reto del cambio climático y a las respuestas que demanda en lo relativo a la mitigación e a la adaptación.

- Entender la base de la problemática energética del cambio climático.
- Comprender las relaciones del cambio climático con la hidrosfera.
- Abordar la problemática del cambio global en el océano.

2.3.2.3 El cambio climático en la investigación de la Didáctica de las Ciencias

El cambio climático es uno de los grandes retos contemporáneos, de la humanidad, y como tal es uno de los principales temas en el debate científico, social, político y económico de todos los países. Por tanto, urge que las sociedades entiendan el cambio climático como un factor al que las sociedades deben responder a sus amenazas y riesgos (Arto y Meira, 2011). Por eso, en la investigación de la Didáctica de las Ciencias, se debe tener en cuenta la influencia de las representaciones sociales y las ideas alternativas que sobre esto tienen los escolares. Esto es así porque el conocimiento, las opiniones y las evaluaciones del cambio climático se basan en información de diversos medios, cuya información puede, o no, originarse en el campo de la ciencia (Arto y Meira, 2011).

Se ha de tener en cuenta que los estudiantes parten de unos modelos mentales iniciales de la ciencia del cambio climático, valores y representaciones sobre el cambio climático que han construido a partir de imágenes obtenidas a través de los medios de comunicación, especialmente a través de la televisión. Estas van a influir en cómo abordar la enseñanza en el aula para alcanzar el objetivo de desarrollar la capacidad de los estudiantes para tomar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático (Varela et al., 2018). De ahí que resulte de capital importancia incluir en este marco teórico las investigaciones de las ideas alternativas que tienen los estudiantes sobre cambio climático y la influencia que tienen los medios de comunicación en esas ideas.

a) Las ideas de la gente sobre el cambio climático

La ciencia del cambio climático está venciendo el escepticismo que caracterizó a la sociedad frente a la investigación sobre el cambio climático desarrollada en el siglo XX, lo que va asociado a la fuerte presencia del reto en los medios de comunicación y en los debates sociales. España fue un país abierto a asumir el reto, pues ya en el 2007 el Centro de Investigaciones Sociológicas publicó un estudio que evidenciaba que el 82,9% de los encuestados consideraba que estamos asistiendo a un proceso de calentamiento de la tierra, y solo un exiguo 5,7% se adhirió a la idea de que no hay pruebas de que esto esté sucediendo (Heras, 2008).

También un estudio de Meira et al. (2009), desarrollado para la Fundación Mapfre, sitúa en un porcentaje superior al 80% de la población española que conoce el cambio climático. La mayoría de los españoles (70 por ciento) cree que este fenómeno contribuye a aumentar la probabilidad de padecer alergias, problemas de salud derivados del excesivo calor o frío y asma u otro tipo de enfermedades respiratorias. Identifican cuatro grupos de población en relación con el cambio climático. El primero de ellos está compuesto por un bajo porcentaje de “escépticos” (2 por ciento de los españoles) que no admiten la existencia de este fenómeno; un segundo grupo, representado por casi el 60 por ciento de la población, que a pesar de evidenciar la preocupación por este problema, apenas le presta importancia y por tanto no lo manifiesta en su comportamiento; un tercer grupo, compuesto por el 30 por ciento

de los españoles, que percibe la gravedad del problema, lo interioriza ya en su comportamiento pero sin reflejarlo mucho en sus hábitos. Según se recoge en el trabajo de Heras (2008), una encuesta realizada en el ámbito europeo sitúa a los españoles entre los ciudadanos europeos más preocupados por el cambio climático según la encuesta realizada el año anterior por The Gallup Organization, (2007). En esa encuesta sitúa a los países del Sur de Europa como los más “preocupados”.

Sin embargo, la creciente sensibilidad ciudadana parece convivir con concepciones e interpretaciones erróneas, que resultan ser una barrera para una adecuada valoración del fenómeno. Entre ellas destacan (Heras, 2013).

1. Problemas para diferenciar los conceptos de tiempo y clima.
2. La interpretación inadecuada de las experiencias personales también podría explicar otras valoraciones inapropiadas en relación con el fenómeno (Marshall-Gilmore, 2000):
 - a. Los cambios son percibidos como “lentos” y por tanto poco peligrosos, al menos centrados en la vida de los que los perciben así.
 - b. En ciertas regiones, los cambios se valoran como positivos como puede visualizarse en el aumento de turismo en Islandia.
3. Se detectan ideas erróneas ampliamente extendidas. La mayoría de los ciudadanos consideran que el calentamiento se debe a un agujero en la capa de ozono. En el mismo citado estudio del CIS del 2004 el 64,4% consideró cierta afirmación “el efecto invernadero se debe a un agujero en la atmósfera” (Meira, 2006).
4. Las consecuencias del cambio climático tienden a ser percibidas por los ciudadanos como un problema amenazador en lugares distantes a aquellos en los que viven. En el 2007 el CIS realizó una demoscopia y solo el 6,7% lo consideró el problema ambiental más importante en España y un despreciable 2,9% lo consideró como más importante en la localidad en la que habitan.

En estas dificultades generalizadas, es probable que estén influyendo sesgos en la comunicación del reto a través de los medios de comunicación. Entre estos sesgos destacan (Heras, 2013):

- a) Sesgo industrialista. Se consideran que las emisiones industriales localizadas son superiores a las difusas, por la disponibilidad de datos de las emisiones industriales y la dificultad del cálculo a las debidas a la movilidad o a sistemas de aire acondicionado y calefacción. A veces incluso no se toman en consideración las difusas. Los medios de comunicación pueden influir por cuanto que cuando se habla de cambio climático se incorporan imágenes de chimeneas humeantes, utilizando con menor frecuencia imágenes de fuentes difusas: un automóvil, un avión, un sistema de aire acondicionado.
- b) Sesgo geofísico: se ha tendido a usar informaciones sobre las consecuencias del cambio climático centradas en determinados aspectos geofísicos como la temperatura del aire, aumento del nivel del mar, deshielo de los glaciares...), dejando otros mucho más impactantes sobre la calidad de vida como los efectos sobre la salud de olas de calor.

c) Sesgo geográfico: la información sobre las consecuencias del cambio climático se ha situado principalmente en escenarios geográficos lejanos como el deshielo de los polos.

d) Sesgo tecnológico: Las informaciones relativas a las soluciones ante el cambio climático suelen ser tecnológicas como el aumento del uso de las energías renovables y de mejoras en la eficiencia energética. Se magnifica la solución tecnológica de tal forma que parece que con ese tipo de mejoras se puede resolver el problema. Esa descarga de responsabilidad sobre nuestras conductas hace que se preste poca atención a los estilos de vida y a las buenas prácticas individuales y colectivas en consumo bajos en emisiones.

Pero además de tener presentes estos sesgos derivados de las estrategias para comunicar el cambio climático (Heras, 2013), para afrontar las dificultades del aprendizaje del cambio climático hay que tener presente que el cambio climático no resulta fácil de entender, ya que en el fenómeno concurren circunstancias que hacen especialmente difícil una valoración y una comprensión adecuadas.

Como ya se ha visto, el concepto de clima es complejo y se transfiere al de tiempo, porque es más fácil de entender al depender de nuestras vivencias, impresiones y percepciones puntuales. Esto nos lleva a utilizar nuestra experiencia personal del tiempo atmosférico como referencia para valorar muchas informaciones que nos llegan sobre el cambio del clima.

Por otra parte, las causas y las consecuencias del cambio climático son amplias y complejas, lo que también dificulta la comprensión de estas dimensiones esenciales del problema. Entre esas dificultades destacan (Heras, 2003):

1. Dificultades para conocer las emisiones asociadas a productos y servicios, por la dificultad de asimilar y de hacer equivalencias entre las unidades de medida del consumo energético (gasolinas en litros; el gas en metros cúbicos o la electricidad en Kilovatios/hora).

2. Dificultad para establecer relaciones entre energía consumida y gases emitidos. Esta falta de relación del consumo con emisiones resulta todavía más difícil en el caso del vector energético de la electricidad, ya que las emisiones se generan fundamentalmente en el proceso de producción y no en el consumo final, y existen diversos tipos de fuentes de generación con muchas diferencias en la cantidad de emisiones. La participación de las fuentes hidráulicas, eólicas y solares implica que muchos consumidores identifiquen la electricidad como una energía limpia, a pesar de la gran relevancia de las centrales térmicas y de tener múltiples pérdidas en el transporte y transformaciones. Esto puede poner en valor excesivo el coche eléctrico, por ejemplo. Además, la información de las facturas de la energía está insuficientemente desagregadas. En el marco de estas dificultades cabe destacar la dificultad para disponer de datos que cuantifiquen las emisiones asociadas a productos y servicios clave, en especial los que suponen emisiones difusas en las que estamos implicados como responsables directos: un viaje en avión a un país lejano puede llevar asociado unas emisiones equivalentes a las que produce una familia en su hogar a lo largo de un año.

3. La percepción de insignificancia de nuestras acciones nos lleva a esperar a que otros actúen primero, antes de embarcarnos en cambios que percibimos como costosos, pues se percibe que son muchos los que tienen que actuar para resolver el problema. Esto lleva a la dilución de nuestras responsabilidades. El fenómeno del cambio climático es el resultado de la suma agregada de numerosas contribuciones personales e institucionales.

4. Percepción de los impactos y riesgos en la distancia. Se puede ser consciente de la posible influencia del cambio climático en un evento catastrófico distante. Pero la distancia, espacial y temporal, entre las acciones que causan el cambio climático y sus efectos provoca que nuestra sensación de responsabilidad se diluya notablemente, y eso hace que no se tengan en cuenta las repercusiones del cambio climático en el entorno próximo, amparándonos en este tipo de argumentos para no comprometernos con el reto cambiando nuestras actitudes.

5. Las incertidumbres relativas al fenómeno. La existencia de incertidumbres tiene un efecto desmovilizador en la gente. Estas incertidumbres son una fuente importante de justificaciones utilizadas en la comunicación negacionista. Las personas se mueven para realizar cambios sustanciales por la certeza de la gravedad futura del problema o los efectos que producirán las acciones. A pesar de que los niveles de incertidumbre manejados por los científicos del clima se han reducido de forma significativa, no cabe duda de que el sistema climático es un sistema complejo y nuestro conocimiento sobre su comportamiento futuro siempre estará sometido a incertidumbres, que la ciencia siempre debe tener presente y expresar si estas están presentes en sus conclusiones. La incertidumbre existente en relación con aspectos relativos al cambio climático ha sido uno de los argumentos más utilizados en los sectores escépticos al cambio climático que aprovechan el hecho de que la ciencia del cambio climático se expresa en escenarios y porcentajes de fiabilidad. Los escenarios y grados de fiabilidad suelen ser empleados por los promotores del escepticismo para generar inseguridad sobre el reto y dudas sobre nuestras responsabilidades, y en base a ello estimular estados de ánimo contrarios a tomar en consideración la urgencia del reto.

b) La investigación de Didáctica de las Ciencias sobre ideas alternativas del alumnado y dificultades de aprendizaje sobre cambio climático

Entre las dificultades de aprendizaje derivadas de ideas alternativas sobre cambio climático hay que destacar la tendencia a confundir el efecto invernadero con la disminución de la capa de ozono o considerar la disminución de la capa de ozono causa del calentamiento global (Varela et al., 2018). Cuando se hacen estas predicciones los estudiantes aplican el modelo mental de que el cambio climático es resultado la radiación solar adicional que llega por el aumento del agujero de la capa ozono. Por eso los estudiantes de secundaria tienen dificultad para distinguir entre el proceso de efecto invernadero con el agotamiento de la capa de ozono. Así se puede explicar que un porcentaje significativo de estudiantes de secundaria expresen la idea alternativa de que el agotamiento de la capa de ozono hará que entre más luz solar a la tierra, lo que a su vez provocará que la temperatura promedio de la superficie de la tierra aumente. Esta confusión también permite entender la existencia de la idea alternativa de que totalidad de los gases invernadero de la atmósfera son contaminantes derivados del uso de los combustibles fósiles. Dichas dificultades de comprensión del efecto invernadero puede

explicar, en parte, que el modelo de cambio climático presente dificultades de comprensión en secundaria, siendo frecuentes modelos mentales iniciales incoherentes con el modelo científico, como por ejemplo el que explica el efecto invernadero como el cierre de brechas en la atmósfera (Kania et al., 2020). En este último caso también se pueden generar interferencias con la capa de ozono, pues hay estudiantes que entienden esta capa con un acúmulo de gases contaminantes, y en ese sentido los GEI estarían contribuyendo a cerrar agujeros al aumentar el espesor de esa capa de ozono.

En esta línea también hay que destacar la sobreestimación de los escolares en relación a las contribuciones humanas a las entradas de carbono atmosférico, la radiación ultravioleta en la luz solar y los gases de efecto invernadero en la atmósfera. También se encuentran dificultades en la comprensión de los equilibrios en el ciclo del carbono porque en general los estudiantes de secundaria no suelen tener presente que el CO₂ se disuelve en el agua, y por tanto desconocen el papel de los océanos en el ciclo del carbono. En esta línea resulta un problema de aprendizaje que se asimile al CO₂ como el único gas invernadero porque se obviará los efectos de retroalimentación positiva derivada del aumento de vapor del agua de la atmósfera, al desconocer el papel de este gas en el efecto invernadero, y se despreciará el papel del metano, que, aunque menos concentrado que el dióxido de carbono, es un GIE más potente. Otro problema de aprendizaje importante deriva de las dificultades de comprensión del balance energético de la Tierra y la radiación, lo que los lleva a interiorizar la idea errónea de que la radiación ultravioleta constituye la mayor parte de la radiación solar (Jarrett y Takacs, 2020). En esta interpretación errónea es frecuente que los estudiantes de secundaria entiendan que toda la radiación infrarroja procede directamente del sol (Chang y Pascua, 2016). Esta idea alternativa aporta coherencia interna al modelo mental inicial alternativo de combinación del agotamiento del ozono estratosférico con el cambio climático. La presencia de esta idea alternativa urge a la escuela para impulsar una modificación, pero este avance resulta dificultoso por la coherencia interna de dicha combinación agotamiento de ozono y cambio climático.

En general se observa que las ideas alternativas de los estudiantes de secundaria coinciden con las ideas erróneas de la sociedad. Por ejemplo, un estudio desarrollado por Bodzin et al. (2014) buscando analizar la comprensión del cambio climático por parte de estudiantes de 13-15 años, realizado con un tamaño de muestra de 868 estudiantes de octavo curso del sistema educativo estadounidense, obtuvo resultados destacables y coherentes con las ideas del cambio climático que tiene la sociedad en general y que se expresaron en el apartado anterior, poniendo en evidencia lagunas conceptuales importantes en especial en lo relativo a las causas del cambio climático:

1. La mayor parte de los estudiantes confunden tiempo y clima.

2. La mayor parte de los estudiantes no fue capaz de identificar los gases que contribuyen al efecto invernadero y tan solo un 41.5% indicó que el calentamiento global se debe a un aumento de los gases de efecto invernadero.

3. La mayor parte de los estudiantes no entendió como el vapor de agua contribuye al efecto invernadero.

4. Los resultados sugieren una confusión por parte de los estudiantes sobre el papel del ozono troposférico y estratosférico, pues si bien la mayoría (62.8%) razonaron correctamente el papel del ozono estratosférico como protector ante la

radiación ultravioleta, tan solo el 22.4% identificó al ozono troposférico como un contaminante dañino originado por la quema de combustibles fósiles.

5. Casi la mitad de los estudiantes (49.6%) sabía que una superficie que refleja más luz solar tiene un mayor albedo, pero parece que confunden el albedo con la capacidad calorífica.

6. Tan solo un 39% sabía que los testigos de hielo, sedimento y los anillos de crecimiento de los árboles pueden ser usados como *proxies* climáticos.

7. La mayor parte de los estudiantes fueron capaces de listar al menos 4 acciones personales/sociales para reducir sus emisiones de CO₂

c) La investigación de Didáctica de las Ciencias sobre los modelos mentales en los que se estructuran las ideas de los estudiantes sobre cambio climático

Como señalan Varela et al. (2018) ha habido autores que han ido más allá del estudio de las ideas previas para abordar la comprensión de los estudiantes sobre el cambio climático, deduciendo modelos mentales en los que se estructuraron las ideas de los estudiantes sobre el cambio climático.

García-Rodeja y Lima (2012) estudiaron los modelos de pensamiento de los estudiantes sobre el cambio climático, en concreto sobre el incremento del efecto invernadero. Los participantes fueron 22 estudiantes de secundaria. El instrumento utilizado fue un cuestionario de preguntas abiertas relacionadas con el proceso, las causas y las consecuencias del incremento del efecto invernadero, así como las estrategias para frenarlo. Se analizan las respuestas de los estudiantes antes y después de la instrucción. Los resultados indicaron cierta evolución de los modelos. Sin embargo, se observó que los modelos iniciales que tienen una fuerte coherencia para los individuos sirvieron como estructuras para acoger la nueva información, pero dichos modelos alternativos no modificaran substancialmente. En esa misma línea de estudio, Shepardson y col. (2011) identificaron cinco modelos fundamentales sobre el cambio climático y descubrieron que es probable que tres de ellos se modifiquen fácilmente a través de actividades de enseñanza y currículo apropiados. En estas investigaciones se han encontrado modelos mentales que consideran que los gases de efecto invernadero causan los agujeros de la capa de ozono, o bien interrumpen su formación. Los estudiantes entienden que eso permite que la mayor parte de los rayos solares lleguen a la Tierra o hace que los rayos del sol queden atrapados. Por lo tanto, lo que inhibe el desarrollo de los modelos mentales de los estudiantes es la existencia modelos alternativos de una gran coherencia para el estudiante por lo que resulta compleja su modificación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es posible que una de esas barreras para la modificación se deba a que los modelos mentales pueden ser coherentes y consistentes para los estudiantes a pesar de ser muy distintos de los de la ciencia escolar. El impacto del tema de los medios puede interferir en la evolución de los modelos mentales hacia los científicos, acercándose así más a representaciones sociales que a científicas. En casos así, es necesario hacer propuestas didácticas para conseguir la modificación, y esta resultar un reto didáctico tanto más complejo cuanto mayor sea las ideas implicadas, y las conexiones que les dan coherencia. Esa modificación debe estar orientada por los modelos científicos o conceptuales que son representaciones de fenómenos, eventos o sistemas que son consistente con el conocimiento

aceptado por la comunidad científica. A diferencia de los modelos mentales, los modelos conceptuales se caracterizan por imágenes de representaciones conceptuales elaboradas por la ciencia para explicar los fenómenos en forma específica en el que se detallen principios científicos limitados (Mohan et al. 2009). Estos modelos conceptuales son muy importantes para orientar la evolución de los modelos mentales sobre el cambio climático.

En ese desarrollo ontológico de los modelos de ciencia escolar sobre cambio climático los procesos de enseñanza y aprendizaje del cambio climático se enfrentan con frecuencia al dilema de cómo conseguir avanzar los modelos de los estudiantes hacia modelos mentales más maduros (Schraw et al., 2006). Este tipo de enfoques, en el marco de los modelos mentales, llevaron a un cambio de perspectiva en la definición de cambio conceptual, entendido en su versión clásica como la transformación del conocimiento previo que entra en conflicto con la nueva información. Esta transformación inducida por los avances de la teoría de modelos mentales (Johnson-Laird, 1983) involucra procesos cognitivos relacionados con la generación de inferencia y revisión de modelos mentales con el objetivo de eliminar las contradicciones internas. En esa revisión, el cambio conceptual no puede ocurrir sin cierto grado de conflicto intelectual (Schraw et al, 2006). Por eso las nuevas formas de enseñar y aprender que demandan las ciencias del cambio climático dan más valor a la evolución de los modelos mentales que al cambio conceptual, porque el aprendizaje del cambio climático lleva asociados conflictos intelectuales que no siempre implican la transformación del conocimiento previo, pues en determinados aprendizajes simplemente se requiere de una adición de nuevos conocimientos. Por la complejidad de los modelos científicos implicados, puede necesitar partir de situaciones con carencias de conocimientos previos, o incluso en las necesidades de ampliar algún conocimiento incompleto. Por tanto, el cambio en los modelos mentales en el aprendizaje del cambio climático tiene lugar a través de diversos procesos de este tipo conocidos como enriquecimiento, y que no constituyen un cambio conceptual (Chi, 2008).

Los modelos de los estudiantes sobre el cambio climático no han alcanzado la idoneidad y la presencia eficaz en el currículo que la importancia del reto tiene en la actualidad para la humanidad. Por eso la relevancia del reto requiere que los estudiantes construyan modelos mentales apropiados para poder integrar relaciones funcionales y causales de sistemas complejos como el clima global (Schraw et al., 2006) que le permitan actuar y formarse en su educación permanente como ciudadanos con la responsabilidad, compromiso y buenas prácticas que demanda las respuestas de adaptación y mitigación del cambio climático.

Tal y como señalan Varela et al. (2018), los sistemas complejos como los que se corresponden con el reto del cambio climático constan de varios componentes que interactúan entre ellos de diferentes maneras. Es necesario incorporar el pensamiento sistémico que demandan los procesos de enseñanza y aprendizaje del cambio climático, lo que permitiría una mejor comprensión de las causas, consecuencias y soluciones al cambio climático. Por lo tanto, se necesita más investigación para obtener una mejor comprensión de las ideas y modelos de los estudiantes sobre el cambio climático de cara a diseñar planes de estudios y materiales educativos de una manera que desafíen los modelos mentales de los estudiantes, de tal forma que les permiten evolucionar hacia aquellos modelos de la ciencia escolar (Schraw et al., 2006; Shepardson et al., 2011).

Para Anyanwu y Grange (2017) los procesos de enseñanza y aprendizaje del cambio climático son valiosas para la sociedad actual, tal y como muestra el hecho de que las

personas con mayores niveles de alfabetización en relación con el cambio climático son más conscientes de la relación entre el clima y el estilo de vida humano, y cómo este último afecta al cambio climático, la enseñanza y aprendizaje resultados. Pero estos procesos de enseñanza y aprendizaje resultan costosos porque existen modelos difíciles de modificar a pesar del grado de instrucción escolar.

Esas dificultades para hacer avanzar los modelos mentales en los procesos de enseñanza y aprendizaje facilitan que se repitan los mismos esquemas de interpretación con los mismos "errores", al contrastarlas con las representaciones científicas de los problemas en poblaciones escolares muy diferentes, desde primaria hasta la universidad (Meira, 2013). Entre estos modelos de necesaria y difícil modificación, destaca la relación del agujero de la capa de ozono con el cambio climático según lo expresado. En ese estudio se relaciona la interferencia de las representaciones sociales de la pérdida de ozono estratosférico con la generación de un modelo mental alternativo por ser incoherente con el modelo científico. Destaca el modelo alternativo con el que interpretan que el cambio climático se debe a que los rayos solares penetran sin ser obstaculizados por el ozono que falta en ese "agujero" polar y esos rayos luminosos que entran en exceso son responsables del calentamiento. En esa entrada de rayos solares pueden encontrar la coherencia necesaria para explicar que derriten las masas de hielo, incrementando la humedad ambiental, al tiempo que calienta la superficie.

Esta idea alternativa ya aparece en el estudio de ideas de los estudiantes sobre cambio climático realizado por Sónora y García-Rodeja (1996). En ese trabajo se concluye, a modo de reflexión didáctica, que la idea alternativa de las relaciones entre ambos retos globales consiste en considerar que ambos retos globales tienen su causa común en los gases CFC, y se recomienda introducir la enseñanza y aprendizaje del cambio climático cuando los modelos del agujero de la capa de ozono y del efecto invernadero tengan la evolución necesaria. Se concluye en ese estudio que hacerlo antes de que esos dos modelos de la ciencia escolar tengan el grado de evolución adecuado, puede generar confusiones entre los dos modelos como los expresados en este trabajo y en el que en profundizan García-Rodeja y Lima (2012), apareciendo también su expresión en el ámbito de las representaciones sociales en el trabajo de Meira (2013).

En la construcción de modelos de cambio climático resultan relevantes las consecuencias en los contextos y entornos en los que viven los estudiantes. Por eso los modelos sobre cambio climático deben construirse desde sus contextos y vivencias de las consecuencias del cambio climático en el entorno de los estudiantes y, desde aquí, deben evolucionar hacia la capacidad global de explicar otras problemáticas particulares, por lo que deben ser modelos de fácil transferencia bidireccional local-global, con coherencia interna y con valor para la ciencia escolar. En ese sentido McGinnis et al. (2017) desarrollaron una progresión en los avances de los modelos mentales desde lo local a lo global a partir de tres consecuencias de cambio climático: efecto de isla de calor urbano mejorado, clima extremo y aumento del nivel del mar. Estos autores encontraron que cuando los estudiantes describen las causas y los mecanismos de alguno de estos tres contextos que se pueden contextualizar en lo local, como ocurre con claridad en el caso del aumento del nivel del mar, son capaces de avanzar de explicaciones macroscópicas a microscópicas y de avanzar desde lo local a lo global. En ese tipo de ejercicios mentales se pueden encontrar líneas didácticas eficaces para los avances en la evolución del modelo mental del cambio climático para aumentar su transferencia bidireccional en las explicaciones entre lo local y lo global (Sónora y García-Rodeja, 2019).

d) Criterios para aumentar la eficacia de la comprensión del cambio climático

Los criterios para conseguir una comprensión eficaz del cambio climático deben buscarse en la Educación Ambiental. A la hora de seleccionar los aprendizajes básicos de cambio climático se debe tener en cuenta que en la educación básica lo que debe conocer un escolar es lo que necesitamos que conozca cualquier ciudadano, y en ese sentido no es realista pensar que estos deben ser expertos en cambio climático, y por eso las escuelas de secundaria básica deben aspirar a que sus estudiantes no dejen sus aulas sin conocer bien tres grandes ámbitos:

a) Causas del cambio climático: resulta necesario tenerlas bien asimiladas para poder identificar y replantear las actividades más impactantes. Existen investigaciones que concluyen que cuando se disponen de conocimientos correctos sobre las causas del calentamiento global, estas pueden constituir el predictor más potente de la intencionalidad hacia comportamientos responsables (Bord et al., 2000).

b) Consecuencias y los riesgos asociados al cambio climático. Conocerlos es necesario para valorar adecuadamente la amenaza que representa. La percepción de los riesgos genera oportunidades para responder de forma activa. Por eso es importante asociar el estudio del cambio climático al del riesgo en el desarrollo de los currículos.

c) Capacitación para la acción responsable en la búsqueda de soluciones. Se debe implicar a los estudiantes a que busquen y se comprometan, con criterio, en nuevas opciones, personales y colectivas que supongan respuestas activas al cambio climático.

Teniendo presentes los tres criterios es importante desarrollar acciones de desarrollo curricular para la enseñanza aprendizaje del cambio climático las siguientes líneas de acción:

1. Para combatir la confusión entre tiempo clima, es necesario tratar con rigor en el aula la información sobre fenómenos meteorológicos que se difunde de forma habitual a través de los medios de comunicación. Hay que estar atentos a que no se establezcan relaciones sencillas causa-efecto entre el cambio climático y cualquier evento meteorológico de unos días de tiempo anómalo para la estación. Es necesario analizar series de ocurrencias anómalas como los diez años más calurosos y su proximidad a la actualidad. Es importante analizar climogramas obtenidos por cálculos de los estudiantes en las clases, y evidenciar la relevancia del valor de un grado en climatología, diferenciándolo de ese mismo valor en meteorología. Solo así se podrá entender la relevancia de las estimaciones realizadas por el Instituto Nacional de Meteorología la temperatura media de la península ha ascendido 0,5° C década desde los años setenta del siglo pasado (Heras, 2008). Eso también puede hacer entender que poco más de 4° C sean las diferencias de temperatura del verano de Madrid o del Valencia con el de A Coruña, y que a su vez la temperatura media de A Coruña y de Valencia sean iguales en invierno, mientras que la del invierno de Madrid sea tenga 4° C centígrados de diferencia con las dos ciudades costeras. A su vez, A Coruña y Córdoba, que se identifica la primera con una ciudad fresca y atlántica y la segunda como cálida y mediterránea, sean solo de 3° C. De esa forma se podrán superar los sesgos geofísicos (Heras, 2013).

2. Hay que huir de debates escolares sobre si un determinado evento extremo es el resultado del cambio climático. Un evento extremo nunca se puede atribuir al

cambio climático en los procesos de desarrollo curricular relativos al cambio climático en las escuelas de secundaria, pero sí podemos comprobar que la ocurrencia y la intensidad está aumentado (Stott et al., 2004). Es oportuno que cada promoción deje constancia de los aumentos detectados en eventos extremos para que en generaciones sucesivas vayan siguiendo tendencias en series escolares y aproximarlos así a un modelo de ciencia escolar coherente con los modelos científicos.

3. Es importante la construcción de series por los propios escolares. Esas series obtenidas a lo largo del tiempo en la propia escuela, a través de análisis de información de eventos extremos y sus consecuencias en la localidad, serán útiles para analizar posibles aumentos preocupantes de su frecuencia. En este sentido son útiles los planteamientos de estaciones meteorológicas escolares para realizar, mediante el trabajo continuado de los escolares, las series de temperatura máxima y mínima y las precipitaciones en la escuela. Si estas series se comparan e integran entre varias escuelas coordinadas, a poder ser diferentes dominios climáticos, las acciones ganan mayor dimensión didáctica, tal y como se demostró con Climaecambio del proyecto Climántica (Sóñora y Fernández, 2007) desarrollado en el programa MeteoEscolas promovido por MeteoGalicia, el servicio de predicción meteorológica de Galicia, que sigue integrando así los datos de los escolares en su red general de datos para la predicción meteorológica en Galicia. Estas series también son importantes en propuestas didácticas para seguir la evolución de los reclutamientos, distribuciones y abundancias, como en la propuesta didáctica sobre el banco de bivalvos del banco de marisqueo de Testal, desarrollado en el marco del proyecto EduCO2cean-Erasmus+ (Sóñora y Alonso, 2018). Estas series escolares aproximan al alumnado el problema y lo hace conscientes de que el cambio climático avanza con gran rapidez, aunque no lo percibamos día a día. Si incorporamos efectos sobre la vida y sobre la economía en lo próximo, como ocurre en el citado ejemplo de los bivalvos, los estudiantes se harán conscientes de que viven en una zona del planeta en la que el calentamiento global progresa como en el conjunto del planeta, y en muchos aspectos más rápidamente que la media mundial.

4. El trabajo con las series debe llevar a la introducción del cambio climático en la escuela de secundaria de la “cultura de la medida”, que pueden y deben extenderse también a la realización y análisis de representaciones gráficas y a medida de las emisiones de gases de efecto invernadero que están detrás del problema. En la escuela de secundaria los estudiantes deben estudiar el cambio climático cuantificando, siempre que sea razonablemente posible, y utilizando todas las herramientas y recursos disponibles como sistemas de etiquetado energético y las diversas aplicaciones para el cálculo de emisiones implicando esto en ecoauditorías escolares.

5. Los impactos y los riesgos del cambio climático preocupan y pueden asustar a los adolescentes, pero no por ello se debe suavizar en su incorporación a los desarrollos curriculares, pero sí que se deben acompañar estas informaciones con otras de carácter constructivo que nos faciliten la identificación de salidas para reducir el peligro. En ese sentido es importante ligar el aprendizaje del cambio climático con estilos de vida y buenas prácticas que puedan dejar en los estudiantes actitudes, consciencia, compromiso y determinación para participar en la solución.

6. Se deben utilizar analogías y simulaciones. En ese sentido los juegos de rol y los videojuegos de simulación como CLMNTK del proyecto Climántica (Sóñora y García, 2020) permiten a los estudiantes tomar decisiones sobre mitigación y adaptación en situaciones de incertidumbre de nuevas poblaciones creadas con decisiones en las que influyen los escenarios del IPCC y datos reales de consumo de Galicia. Se debe trabajar con la creación de productos diversos de sensibilización en la que se generen historias, argumentos y personajes con sus guiones (Sóñora et al., 2019). Todo esto debe ir asociado a debates y análisis sobre las decisiones tomadas en base a escenarios diferentes, tomando decisiones acordadas por el mayor consenso posible, y poniendo en evidencia los respaldos. Por tanto, estas analogías y simulaciones encuentran referencias meteorológicas interesantes en el marco de la indagación y de la argumentación.

7. Se debe ajustar bien el modelo para explicar el calentamiento global con el modelo efecto invernadero. El modelo del cambio climático del que disponen como modelo mental suele distanciarse del modelo científico, pues demuestra tener bajo poder explicativo para explicar situaciones cotidianas que el modelo científico explica. Un buen ejemplo es el aumento de temperatura al entrar en un coche un día soleado y, sobre todo. Se debe atender a la asociación errónea del calentamiento con el agujero de la capa de ozono (Bostrom y Lashof, 2007). Se debe tener en cuenta además lo que se ha comentado en relación a la dificultad de modificar modelos erróneos cuando el estudiante es consciente de su coherencia evidenciada por la seguridad que le da para interpretar el fenómeno.

8. Es importante que los estudiantes compartan significados y desarrollen interactividad. La comunicación efectiva exige compartir significados, tanto a nivel virtual como presencial. Por eso, el viejo modelo escolar vertical debería cambiarse por otro horizontal, de aprendizaje entre iguales, de promoción de liderazgo estudiantil en generar mensajes que estimulen y comprometan a los demás, en el que se producen procesos de diálogo que permitan encontrar significados compartidos de impactos del cambio climático en diferentes contextos con dominios climáticos bien diferenciados. En ese sentido, se pueden citar como ejemplos los congresos virtuales internacionales y los campus –seminarios internacionales de Climántica (Sóñora et al., 2019), a través de los cuales los estudiantes se ven en contextos de compartir información, siendo coherentes entre lo que hacen y lo que proponen, e incluso teniendo ocasión de influir en la opinión pública. Además, estos contextos colaborativos ponen a los estudiantes y a los docentes en condiciones de aprender más motivados, los primeros para aprender sobre el cambio climático y los segundos sobre la investigación acción de nuevas formas de enseñar que demanda el cambio climático. Los proyectos colectivos refuerzan la autoestima, y permite la convergencia de diferentes puntos de vista, al que especialmente relevante en términos de aprendizaje del cambio climático, porque son muchos los que se comprometen y cambian en el reto colaborativo.

9. Las demostraciones experimentales mejoran la comprensión del cambio climático. Estas prácticas son de especial relevancia para que los estudiantes se hagan con un modelo conceptual acertado sobre el cambio climático, que se ha comprobado que, de no ser por esta vía, resulta de especial dificultad. Strickhouser et al (2017) demostraron la mejora en la comprensión del mismo en los tests realizados antes y después de un estudio mediante un planteamiento experimental de esta naturaleza. Sin

embargo, persistió una dificultad para explicarlo por escrito, al comprobarse que las respuestas proporcionadas oralmente por parte de los estudiantes en el laboratorio fueron mucho más completas que al plasmarlas en papel (Sóñora et al., 2009). Por eso interesa que los estudiantes aprendan el cambio climático aplicando el criterio de que el que enseña aprende dos veces, adquiriendo sentido el planteamiento de que los estudiantes realicen demostraciones prácticas para explicar a la ciudadanía el cambio climático (Sóñora y García, 2020). En el proyecto Climántica se forma a los profesores para que formen a los estudiantes como agentes de comunicación del cambio climático a la ciudadanía mediante prácticas de laboratorio y simulaciones. Se trata de acercar al alumnado al cambio climático, sus evidencias, causas, consecuencias y posibles alternativas, recreando de forma experimental y vivencial un conjunto de actividades prácticas, sencillas y rigurosas. Todo ello se hace en plazas y lugares públicos para que la ciudadanía pueda aprender como ellos lo han hecho antes, contribuyendo así al aprendizaje activo de los estudiantes y a la formación de personas comprometidas con la realidad contemporánea, en la perspectiva del desarrollo sostenible, conjugando la razón con la emoción, y el espíritu lúdico con el rigor científico (Sóñora et al, 2019).

10. Utilización de dibujos y representaciones gráficas para expresar sus modelos antes y después de la instrucción. Resulta útil que los estudiantes analicen dibujos y representaciones gráficas para expresar sus modelos del cambio climático, en especial en lo relativo a sus causas y consecuencias. Este planteamiento permite incorporar análisis metacognitivos interesantes para la modificación de los modelos analizando los dibujos antes y después de la instrucción. Harris y Gold (2018) pidieron a los estudiantes que realizasen un dibujo antes y después de la lección, con las anotaciones correspondientes, que sirviesen para explicar el efecto invernadero con el objetivo de ver qué concepciones científicamente incorrectas (como la existencia de una capa como tal de gases de efecto invernadero). Encontraron qué ideas de los modelos que a eran subsanables tras la lección y cuáles tendían a permanecer en la concepción del estudiante, descubriendo también que la mayor parte de los modelos explicativos realizados antes y después de la explicación cambió, en su mayor parte, hacia uno científicamente más correcto. Entre las ideas más modificables destacaron los procesos como los de absorción y emisión, y entre los que permanecían interpretaciones confusas como la confusión del efecto invernadero con el agujero de ozono, que sigue apareciendo como idea alternativa a modificar más arraigada, a pesar de la eficacia mostrada por este tipo de actuaciones didácticas. En un estudio con similitudes en la técnica, pero centrado en representaciones sociales, realizado por Meira (2013) se encontró ciertas semejanzas en esquemas de interpretación (lineales, causa/efecto), y coinciden también los mismos "errores" (al contrastarlas con las representaciones científicas de los problemas), lo que justifica la potencia y transferibilidad del uso de dibujos para expresar representaciones, tanto científicas como sociales. Esto se tuvo en cuenta en el diseño de la exposición de cambio climático (anexo II) que se usó en la propuesta didáctica sobre cambio climático objeto de esta investigación.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.

3.1 LA METODOLOGÍA CUALITATIVA DEL ESTUDIO

La metodología de este estudio que se recoge en este capítulo requiere de analizar y reflexionar sobre el carácter creativo de la interacción entre personas, lo que lleva al investigador a asumir la dificultad de alcanzar el pretendido ideal de objetividad de los enfoques metodológicos cuantitativos. Por eso se apostó con decisión por la investigación cualitativa que busca la comprensión y es sensible a los efectos que el propio investigador produce en la gente que constituye su objeto de estudio (Álvarez-Gayou, 2003).

La metodología cualitativa aplicada a la educación que se usa en este estudio sigue sus caminos más habituales de búsqueda: la observación, la etnografía, la investigación acción (Cajide, 1992). Seguir estos caminos implica asumir que la investigación cualitativa no es independiente del propio proceso de investigación ni del problema investigado, porque ambos están incorporados en el propio proceso de investigación, motivo por el que se comprenden y describen mejor desde la perspectiva del proceso. Con este enfoque la investigación cualitativa usada en este estudio trabaja a partir de datos verbales generados por grupos de estudiantes en tareas que implican discusiones y debates en pequeños grupos de trabajo o en gran grupo sala de aula en coloquios y puestas en común. Los datos verbales se transformaron en textos a través de documentación mediante transcripciones. Sobre estos textos transcritos se inicia la segunda fase de tratamiento de datos que lleva al viaje decisivo consistente en su transformación en teoría. Las discusiones analizadas para sacar conclusiones teóricas requieren del análisis de casos concretos en su particularidad temporal y local generados en actividades desarrolladas en contextos de clases del sistema educativo centradas en desarrollos de los currículos oficiales propios de las materias en las que se incluyen los casos que se estudian (Flick, 2004).

Las características de los métodos cualitativos coinciden básicamente con las expresadas por Ruiz-Olabuénaga (2012):

- El objetivo de esta metodología es la captación reconstrucción de significados.
- Se opta por el análisis a través del lenguaje conceptual y metafórico más que buscar números y usar tests.
- Su modo de capturar la información no es estructurado, sino más bien flexible.
- Su procedimiento es más inductivo que deductiva.
- La orientación no es particularista y generalizadora, sino holística y concretizadora.

- Se graban datos a partir de los cuales se realizan inducciones que llevan a deducciones formalizadas como hipótesis.

Por tanto esta investigación cualitativa busca la comprensión global que permita dar respuesta a las preguntas de investigación desde una visión holística y global del estudio a partir del análisis de textos transcritos del discurso generado en argumentaciones colectivas en claves reales de clases de disciplinas de enseñanza de las ciencias que integran las Ciencias de la naturaleza y con contenidos transversales de Educación Ambiental articulados sobre las relaciones del suelo y el cambio climático. Los textos transcritos se abordan en su contexto real siendo los textos y los contextos interdependientes e indisolubles. Por eso el investigador no pierde en el estudio el contacto directo con la realidad del aula y se incorpora al campo de estudio como un requisito indispensable de una estrategia a orientada a o descubrir y comprender una teoría (Ruiz-Olabuénaga, 2012). Otro requisito adoptado para esta investigación cualitativa es el establecido Sandín (2003) que atribuye a la investigación cualitativa la necesidad de afrontar los estudios con una visión profunda en relación a la fundamentación epistemológica del marco teórico de la investigación. Se tomó así en consideración el principio enunciado por Taylor y Bogdan (2010) según el cual un buen estudio cualitativo combina una comprensión en profundidad del escenario particular estudiado con intelecciones teóricas generales que trascienden las particularidades de los escenarios.

Los focos de interés de la metodología coinciden con los establecidos por Tesch (2013) para los estudios de lenguaje y estudios descriptivos/interpretativos:

- Descripción sistemática del contenido de la comunicación.
- Análisis etnográfico del contenido.
- Análisis del discurso.
- Descripción etnográfica del proceso de aprendizaje en los centros de escolares: descripción de la organización de los grupos en las clases con sus patrones de interacción social y de la construcción de significados compartidos.
- Análisis y selección de los eventos clave para la investigación y la búsqueda de las estructuras lógicas de unos con otros.

El muestreo y toma de datos en esta investigación encaja en lo contemplado en el trabajo de Ruiz-Olabuénaga, (2013). Se seleccionaron intencionalmente las materias en los dos niveles de secundaria: básica (ESO) y superior (Bachillerato) por tener una presencia significativa en su currículo las ciencias del suelo y las ciencias del cambio climático que se necesitan para abordar el aprendizaje de modelos que se necesitan introducir en el currículo los modelos científicos del Informe IPCC del 7 de agosto de 2019, en especial aquellos que relacionen la fertilidad del suelo con el cambio climático por sus implicaciones en la seguridad alimentaria mundial. A su vez diseñamos las propuestas didácticas y buscamos los grupos de clase para quedar en la mejor situación a nuestro alcance para recoger la información clave para conseguir el conocimiento teórico buscado. La recogida de datos mediante grabación de las clases se hizo con la organización e inspección in situ de al menos un observador nativo marginal que se sitúa durante el desarrollo de las clases de forma natural y cotidiana para los estudiantes.

En este capítulo se abordan los aspectos metodológicos del estudio encuadrados en la investigación cualitativa en CC. de la Educación, en particular de los estudios de caso con aspectos metodológicos diferenciados en cada caso, pero todos ellos con el denominador común de realizar un análisis de los procesos de modelización. Esto se realiza desde el análisis del desarrollo del discurso, prestando especial atención a los procesos de argumentación analizados con el objetivo de definir argumentos desarrollados desde los datos y evidencias, que se relacionan con preguntas reto, hasta las conclusiones obtenidas mediante las correspondientes estrategias de argumentación colectiva usando para ello justificaciones apoyadas en conocimiento básico.

Esta investigación cualitativa implicada en los seis estudios de caso no busca la generalización, sino que es ideográfica, caracterizada por estudiar en profundidad una situación concreta desarrollando para ello hipótesis individuales que se dan en casos individuales que deben delimitarse y caracterizarse con detalle. En este sentido no busca explicaciones o causalidades, sino que sus teorizaciones se orientan hacia la comprensión, pudiendo establecer inferencias plausibles entre patrones de configuración en cada caso. Para conseguirlo la metodología persigue estudios en profundidad de cada caso que debe detallarse mediante descripciones y registros rigurosos que requieren de categorías que faciliten la extracción de significados. Por tanto, se trata de construir conocimiento teórico desde la reflexión en la acción, lo que implica orientar la investigación hacia la propia acción buscando respuestas críticas a preguntas o problemas (Pérez-Serrano, 1998). Sobre cada uno de los casos se sigue el siguiente esquema descriptivo - interpretativo: a) explica la situación de partida en cuanto a contexto y participantes, b) el instrumento de recogida de datos y c) el método que se decidió utilizar para analizar esos datos, d) el diseño y su aplicación en que se concretó el instrumento, el análisis y discusión de la información y finalmente las e) conclusiones del estudio (Pérez-Serrano, 2001). El desarrollo de este esquema de análisis determina que la descripción de la metodología se aborde en cuatro secciones: 1) el estudio de casos en el marco de la investigación cualitativa, 2) la descripción general de los seis casos implicados en el estudio a nivel de contexto, participantes y carácter singular de cada caso en cuanto a métodos, 3) los aspectos generales comunes a los seis casos en el análisis del discurso, 4) en su caso, los análisis etnográficos de las interacciones, con especial énfasis en el primer estudio de caso, 5) la modelización con especial énfasis en el caso segundo caso y 6) Particularidades metodológicas de cada uno de los casos.

3.2 LOS ESTUDIOS DE CASO DE LA INVESTIGACIÓN

La finalidad de este trabajo es conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos cuando están implicados en distintas actividades de argumentación relacionadas con temáticas medioambientales que implican a las ciencias del suelo y del cambio climático en diferentes escenarios. Para conseguirlo nos interesa analizar en detalle las capacidades de argumentación y modelización que demuestran los estudiantes durante trabajos que implican discusiones en grupo cuando siguen diseños didácticos realizados para desarrollar estas habilidades y competencias. Por eso el enfoque metodológico de este estudio consiste en analizar e interpretar las interacciones se producen entre los estudiantes en el contexto del trabajo en grupo en el aula de ciencias, teniendo presente diferentes niveles educativos, distintas materias en las que se aborda la fertilidad del suelo, el cambio climático, distintas metodologías de trabajo en el aula y diferentes intensidades en la intervención docente. Esto implica analizar experiencias de individuos y/o grupos que tienen

lugar en momento, contexto y tiempo escolares concretos, dentro de los desarrollos curriculares de los currículos oficiales, siguiendo diseños didácticos específicos para el desarrollo de la investigación. La metodología persigue comprender como el desarrollo de las capacidades de argumentación se van a estimular a través de interacciones en discusiones grupales y cómo estas van haciendo evolucionar los modelos mentales con los que integran los conocimientos y destrezas implicadas (Gibbs, 2018) en el ámbito del aprendizaje de las ciencias del suelo y del cambio climático implicados en el estudio.

Se trata por tanto de una metodología cualitativa por cuanto estudia la realidad en su contexto natural de aula, tal y como sucede en el desarrollo curricular de las dos materias implicadas (Biología y Geología de 3º de la ESO y la materia de libre configuración Climática de 1º de Bachillerato). Se opta por la modalidad de estudio de casos porque la diversidad de aspectos a analizar en clases desarrolladas en su contexto natural requiere centrar el interés en diversas dimensiones. Hacerlo requiere de realizar estudios de caso en diferentes escenarios, teniendo que realizar una selección del escenario desde el cual se intenta recoger información más pertinente para dar respuesta a una dimensión clave para responder a las preguntas de investigación (PI1, PI2 y PI3).

3.2.1 La concepción del estudio de casos en esta investigación

Desde esta apuesta por el estudio de caso a lo largo de esta investigación se busca poner orden a un conjunto de fenómenos interpretados en diferentes estudios de caso de tal forma que cada caso tenga sentido por sí mismo y pueda comunicar este sentido a las demás interpretaciones relevantes derivadas de los demás estudios de caso (Erlandson, 1993). Por tanto, es necesaria una integración orientada a compartir conocimientos extraídas de cada uno de los casos buscando integrarlos en la búsqueda de conclusiones y las implicaciones educativas extraídas desde la respuesta a las preguntas de investigación (PI1, PI2, PI3) y orientadas a conseguir los objetivos de investigación (O1, O2, O3, O4 y O5).

La metodología de esta investigación sigue la concepción de Stenhouse (1990) de estudio de casos, recogiendo y registrando datos del discurso generado en seis casos implicados en la aplicación de dos diseños didácticos específicos, uno sobre la aplicación de la unidad didáctica “*Diez años en un centímetro*” (anexo I) que recoge los elementos didácticos relativos al suelo que se recogen en el currículo de Biología y Geología de 3º de ESO (casos 1 y 2). El otro diseño está centrado en la exposición sobre el cambio climático del proyecto Climática (anexo II) y se desarrolló en la materia de libre configuración de Climática de 1º de Bachillerato. En cada caso tiene un carácter particular en cuanto al ámbito curricular y el contexto. De cada uno de ellos se grabó el discurso, se transcribió para su registro y análisis siguiendo el marco general de análisis del discurso y las particularidades metodológicas para el análisis de cada caso.

Todos los casos responden a la naturaleza, particularista, descriptivo, heurístico e inductivo que Rodríguez y García (1996) atribuyen al estudio de casos. Cada caso se centra en sucesos relevantes para generar respuestas a las preguntas de investigación. Su carácter particularista viene determinado porque el estudio de cada caso se centra en una situación concreta. Esta particularidad le hace ser un método muy útil para el análisis de problemas prácticos, situaciones o acontecimientos que surgen en la cotidianidad en procesos de argumentación en clases de ciencias. Cada caso contribuye al conjunto del estudio, pero

funciona también como producto final de un estudio de caso, permitiendo generar resultados con sus interpretaciones, partiendo de sub-preguntas particulares, en forma de una rica descripción del objeto de estudio propio del caso capaz de generar discusiones que permitan obtener conclusiones e implicaciones pedagógicas relativas al caso: el registro de caso (Stenhouse, 1990).

El estudio de casos adoptado en la metodología cualitativa de esta investigación se desarrolló a partir del diseño de casos múltiples y por tanto se utilizan varios casos únicos a la vez para estudiar la realidad que se desea describir y explicar. Por tanto, el estudio se basa en lo que Stake (1998) denomina estudio de casos *colectivos*, al elegir una colectividad de casos entre los posibles que se puedan extraer del discurso transcrito de las dos propuestas diseñadas y desarrolladas en el estudio. De esta forma cada uno de ellos se usa como un instrumento para aprender del problema que en conjunto representan (Stake, 1998). Todos ellos derivan de la comprensión previa del investigador de su naturaleza única y particular de especial interés para entender determinado aspecto relevante en las respuestas a las preguntas de investigación. Por tanto, los seis casos que forman parte de este estudio fueron definidos y seleccionados por el propio investigador, por lo que se hace necesario justificar cada uno de los casos para asegurar la pertinencia y selección apropiado de cada uno de ellos (Hum, 1999).

Lo importante de los seis estudios de casos es su carácter único y específico, capaz de generar oportunidades y capacidades de analizar la argumentación y la modelización, y de integrar de forma coordinada los seis para conseguir la finalidad de la investigación de esta tesis. Se buscó lo más representativo y particularista en cada uno de los seis casos, pero también se tuvo presente lo que se puede aprender del grupo de seis casos seleccionados. Siguiendo a Stake (1998) se tuvo presente la importancia que representan el equilibrio y la variedad de los seis casos por la oportunidad de aprender que encierran desde el punto de vista de las convicciones particulares e ideas teóricas previas del investigador.

3.2.2 La selección de los casos

La selección de los seis casos que constituyen el estudio se realizó por el valor particularista de su singularidad, importancia y/o revelación que cada caso concreto pueda aportar a la consecución de la finalidad de esta tesis, logrando así un estudio más robusto, al tener presente en su diseño el potencial de los casos en su conjunto para contrastar las respuestas que se obtienen de forma parcial con cada caso que se analiza, obteniendo del contraste respuestas con la globalidad que demandan las preguntas de investigación (Yin, 1992).

El estudio de casos incluidos en esta investigación se basa en el razonamiento inductivo expresado por Rodríguez y García (1996) y por tanto las generalizaciones y conclusiones surgen a partir del examen minucioso de los datos. También recoge la idea expresada Stake (1998) de que a través del estudio de casos el investigador puede alcanzar una comprensión clara sobre un aspecto teórico concreto. Conseguirlo le permitirá explorar, describir, explicar y evaluar situaciones como las que la que requieren para la introducción en el desarrollo del currículo de Ciencias de la Naturaleza y de la Educación Ambiental Escolar la relevancia de las interacciones y relaciones entre la fertilidad del suelo y el cambio climático.

Tal y como afirma Stake (1998) la selección de los seis casos del estudio no pretende conseguir ningún tipo de representatividad con respecto a los casos posibles que se pueden extraer del discurso transcrito, sino que se seleccionó por la comprensión de ese caso y de su relevancia para extraer de su indagación conocimientos relevantes para dar respuestas a las preguntas de investigación. Se buscó la elección de los casos que ofrecían las mejores y mayores oportunidades de aprendizaje para buscar las respuestas a las preguntas de investigación.

3.2.3 Definición, descripción y caracterización de los seis casos

La selección de los seis casos (figura 3.1) se ha realizado buscando analizar los siguientes aspectos:

- El enfoque didáctico que exige la introducción en el currículo de secundaria de los dos grandes ámbitos de conocimiento científico integrados en los contenidos del informe del IPCC del 7 de agosto de 2019 (ciencias del suelo y del cambio climático) para que logren generar modelos mentales de ciencia escolar que permitan interpretar las implicaciones del cambio climático en la seguridad alimentaria de la humanidad.
- Los aspectos etnográficos de interacción entre los estudiantes que llevan a la génesis de los discursos y como esas interacciones hacen fluir el discurso hacia la construcción de los argumentos.
- La construcción de argumentos por parte de los estudiantes que faciliten la génesis modelos mentales implícitos y/ o su avance en su evolución desde modelos mentales iniciales hasta modelos mentales más evolucionados conseguidos a través del proceso de argumentación.
- La identificación, a partir del análisis del discurso, de problemas de aprendizaje a resolver y de andamiajes didácticos a seguir para conseguir la integración y evolución de modelos consolidados en ciencia escolar hacia nuevos modelos que permitan integrar los conocimientos necesarios de ciencias del suelo y de ciencias del cambio climático a favor de la comprensión de los estudiantes de secundaria de las relaciones entre la fertilidad del suelo y el cambio climático que se evidencian en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019.

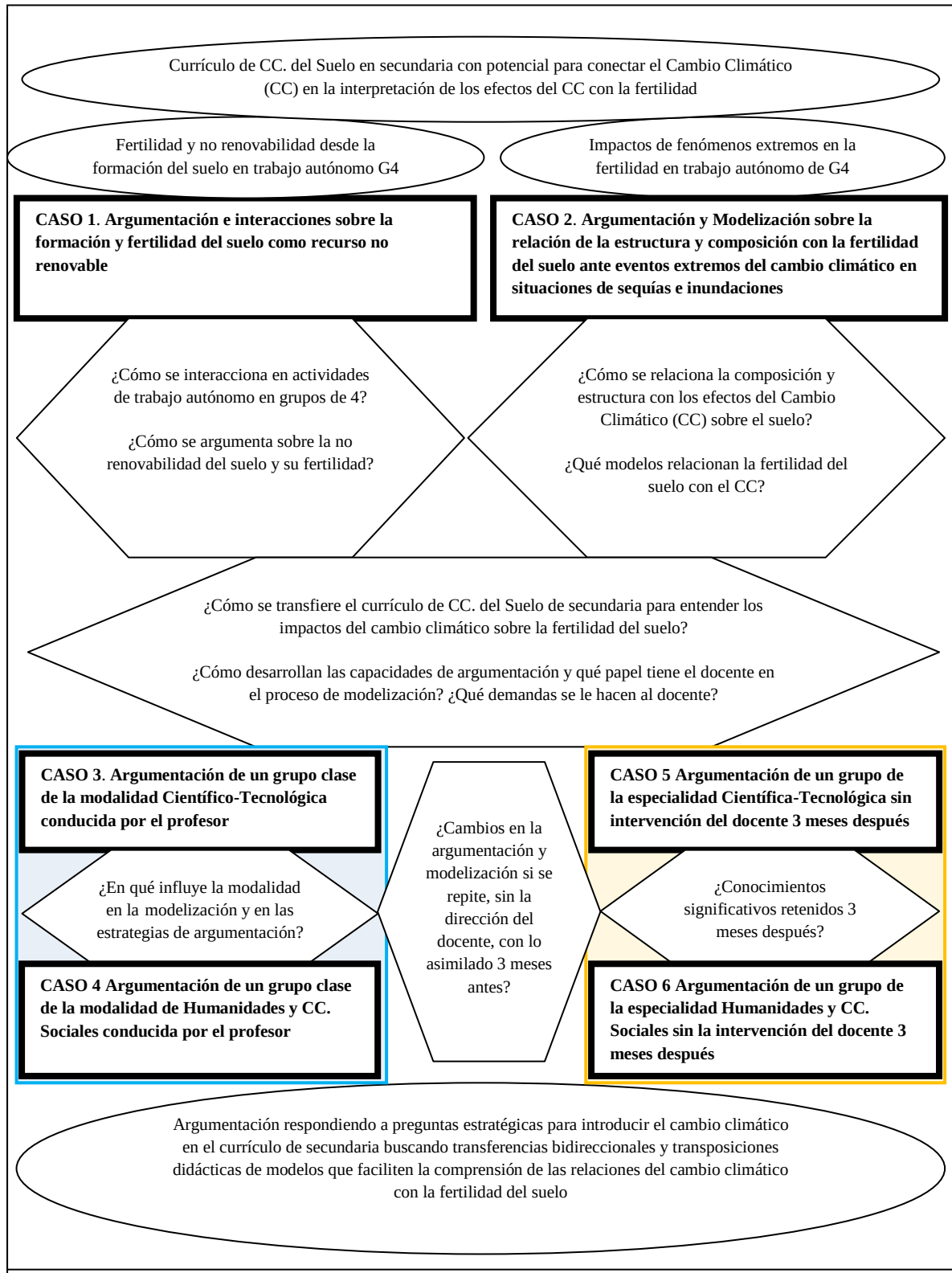


Figura 3.1 Representación de la integración y convergencia de los seis casos del estudio (elaboración propia adoptando las convenciones gráficas de Hogan et al. (2000) para expresar las tres categorías de relaciones: rectángulos para contenidos, hexágonos para preguntas y óvalos para relaciones epistemológicas).

Buscando los casos relevantes para conseguir estos conocimientos que se perseguían sobre ciencias del suelo se analizó la totalidad del discurso de los eventos seleccionados por su relevancia para el estudio de la totalidad del discurso transcrito del generado en la aplicación de la unidad didáctica “*Diez mil años en un centímetro*” (anexo I) sobre la formación, fertilidad e impactos derivados del suelo. De esa transcripción se seleccionaron los dos primeros casos por su relevancia sobre la fertilidad del suelo, las implicaciones de su formación en su estructura, composición y sostenibilidad, así como las relaciones de todo ello en modelos mentales que permitan comprender las consecuencias sobre la fertilidad de las inundaciones y sequías que se puedan derivar del cambio climático (casos 1 y 2 – PI1 –).

Para extraer los casos centrados en el cambio climático se recurrió a la argumentación generada en el discurso colectivo elaborado para dar respuestas a las preguntas de la exposición de Climántica (anexo II). Del discurso de las respuestas a esas preguntas (figura 3.1) surgieron los otros cuatro casos en los que se ha introducido el análisis de tres variables: (A) la influencia de la especialización en dos grandes modalidades en el bachillerato (humanidades y ciencias sociales y científico-tecnológica cuando el docente conduce el coloquio (comparación de los casos 3 y 4 –PI2–), (B) aplicación la retención en la estructura cognitiva de las capacidades en argumentación y modelización en la memoria, después de tres meses, (comparación de los casos 3 y 5 – PI3-SPCC1 y 4 y 6 – PI3-SPCC2 –) y (C) para analizar diferencias, en las dos modalidades, entre las retenciones en las capacidades de argumentación y modelización desarrolladas en el coloquio conducido por el docente tres meses antes, aplicadas ahora de forma autónoma, sin intervención docente, y usando sólo lo que recuerdan tres meses después (casos 5 y 6 – PI3-SPCC3 –).

3.2.3.1 Casos 1 y 2: Ciencias del suelo en la secundaria básica

3.2.3.1.1 Escenarios y participantes en los casos relativos a ciencias del suelo.

Estos dos casos se basan en la discusión de un grupo de estudiantes de tercero de ESO (14 a 15 años) sobre la ciencia del suelo, con el objetivo de investigar la co-construcción de argumentos y las interacciones en un contexto de enseñanza aprendizaje sobre las claves de la sostenibilidad del suelo, la importancia del abonado en su fertilidad agrícola (caso 1) y sobre los modelos relativos a efectos de inundaciones y sequías sobre la fertilidad del suelo (caso 2).

La investigación se llevó a cabo en una escuela secundaria ubicada en un pueblo costero con una industria de referencia en la costa NW de Galicia del orden de 8.000 habitantes, pero con muchos núcleos rurales que dependen de ese núcleo semiurbano, sede del municipio, cuyos estudiantes se desplazaban a este centro de secundaria a estudiar. El nivel socio económico cultural es medio bajo y sus sectores económicos predominantes son una industria, el comercio, la pesca, el marisqueo y la agricultura.

Los participantes fueron treinta y dos estudiantes de tercero de Educación secundaria obligatoria que asistieron a clases de Biología y Geología de 3º de ESO: 28 estudiantes y 4 alumnas. Los participantes eran estudiantes de bajo nivel de rendimiento académico que en su mayoría se estaban orientando para estudiar formación profesional de grado medio con disposición a seguir la mayoría automoción y electrónica que se estudiaban en el propio centro. Toda la clase se dividió en ocho grupos de cuatro estudiantes. El discurso que se analiza se corresponde a uno de esos ocho grupos formado por cuatro varones. El profesor fue

el profesor de ciencias habitual y un investigador externo estuvo presente como observador durante todas las sesiones. Para preservar su anonimato, los nombres de los participantes son ficticios y comienzan con la letra del grupo al que pertenecen (3º ESO A). Para recopilar los datos de los dos primeros se grabó la discusión de los estudiantes en audio y video durante una sesión de 40 minutos en el caso 1 y dos sesiones de 40 minutos cada una en el caso 2.

El discurso de los dos casos surgió de la puesta en práctica de la unidad didáctica “Diez mil años en un centímetro” (anexo I). Se programó para promover el desarrollo de destrezas de argumentación y se hizo de acuerdo con los principios de diseño de SEPIA (Duschl y Gitomer, 1996), dentro del proyecto RODA (Jiménez, 1998). Los principales temas que trata incluyen: factores implicados en la formación del suelo, composición y estructura, usos del suelo, alteración y recuperación de suelos. La concreción de las cuatro fases contempladas en los mencionados principios de diseño, se describen brevemente a continuación:

Fase 1: Presentación del problema. Los estudiantes recibieron un escrito en el que la concejalía de medio ambiente de su ayuntamiento les comunicaba que en este departamento tenían la necesidad de tomar una decisión rápida relativa al uso de tres parcelas, que les fueron cedidas por los promotores en cumplimiento de la ley del suelo. El ayuntamiento quiere destinar una de estas tres parcelas para la realización de un campo de fútbol, otra destinarla a jardín para las prácticas de la escuela de jardinería y con la restante construir oficinas. En relación con este problema, en el mismo escrito, se les pide que estudien, discutan y argumenten en equipo para llegar a conclusiones que permitan tomar la decisión más adecuada y racional.

Fase 2. Estudio e investigación para solucionar el problema. Con la ayuda del profesor y usando el material necesario desarrollado a modo de unidad didáctica con el andamiaje programado para poder realizar las actividades sin la presencia del docente, los estudiantes recogen y organizan la información básica sobre la formación, composición, usos, erosión y restauración de los suelos. A esta fase se corresponden las actividades cuyo desarrollo en comunidades de aprendizaje grupales generaron el discurso de los dos casos.

Fase 3. Evaluación de los datos y solución del problema. Los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos a lo largo de la unidad para la elección del terreno más adecuado a cada uso.

Fase 4. Síntesis y comunicación de resultados. Cada grupo elabora y expone un informe final con las conclusiones razonadas. Se elabora el escrito para asesorar al ayuntamiento, partiendo de la puesta en común y la discusión de los informes de cada uno de los grupos.

En la puesta en práctica de esta unidad, el profesor trata de fomentar la habilidad de los estudiantes para implicarse de forma productiva en las conversaciones de grupo para mejorar así la comprensión de los conocimientos científicos implicados. Las actividades deben tener como referencia problemas “auténticos” para que sean suficientemente significativas. Su planteamiento debe ser abierto para que generen varias respuestas posibles que susciten la discusión necesaria para hacer evaluaciones colectivas en la búsqueda de las más idóneas.

En este contexto, el profesor debe ser un orientador, un dinamizador, un estimulador del pensamiento, un moderador de la discusión, un catalizador de las puestas en común, con una participación mínima en la construcción de los argumentos, priorizando que esa construcción surgiera de la iniciativa, mediación y negociación entre los estudiantes del grupo apoyándose

en las explicaciones de la unidad didáctica diseñada para utilizarse sin la necesidad de que el docente haga exposiciones, de tal forma que pueda atender a las dudas de los ocho equipos de trabajo. El docente quedó así atento a aclarar dudas, a aportar datos a los ocho equipos y a moderar discusiones, coloquios y puestas en común. Por tanto, se adopta conscientemente un estilo de pedagogía constructivista. La información necesaria para resolver “el problema auténtico” la buscan en un “dossier” (parte de la unidad relativa a la actividad) que relaciona las preguntas con textos didácticos, noticias de prensa y textos sencillos de revistas de divulgación científica; también la consiguen de las observaciones y resultados de prácticas de laboratorio. Los estudiantes trabajan en el desarrollo de toda la unidad en pequeños grupos de forma autónoma, siguiendo una “secuencia de actividades”. Las respuestas y conclusiones las anotan en los “elementos de carpeta”: hojas con los enunciados de las cuestiones seguidos de los espacios necesarios para las correspondientes anotaciones. Estas se pueden ampliar y modificar sin más que ir hacia atrás a medida que se adquieren nuevos conceptos e ideas.

La temporalización de la unidad es larga, para dar cantidades de tiempo realistas y acordes con la amplitud y complejidad conceptual que está implicada en la unidad. Se programó para ser desarrollada a lo largo de un mes de clase del área de Ciencias de la Naturaleza (8 sesiones). El trabajo de los estudiantes se procura que sea lo más autónomo posible, por eso dispone de una secuencia completa de actividades descritas a un nivel muy minucioso, indicando los textos didácticos básicos del dossier que debe leer y el elemento de carpeta en el que debe registrar las respuestas.

3.2.3.1.2 Particularidades del caso 1

Se hace con la finalidad de extraer pautas y conclusiones sobre el desarrollo de los patrones de argumentación que faciliten la introducción en el currículo de ese grado de los procesos de formación del suelo y de su abonado, necesarios para sensibilizar, informar y formar a los ciudadanos de las próximas décadas en coherencia con el informe IPCC Special Report 2019. Cambio Climático y suelo publicado el 7 de agosto de 2019.

Esta sesión corresponde a la aplicación de la Fase 2 del diseño de la unidad, centrada principalmente en la activación del conocimiento de los estudiantes. Las preguntas fueron discutidas por los participantes para conseguir argumentos que les den respuestas son:

1. ¿Cuánto tarda en formarse un suelo? ¿Por qué? (a) Entre 1 y 100 años, (b) entre 100 y 15.000 años, (c) entre 15.000 y 1.000.000 años o más.
2. ¿De dónde vienen los materiales que forman los suelos?
3. ¿De qué factores dependen la formación del suelo?
4. ¿Por qué los suelos fertilizados con estiércol son más fértiles que los que contienen fertilizantes inorgánicos?

La primera pregunta está dirigida a que los estudiantes expresen sus ideas sobre la edad aproximada del suelo. Comprender el tiempo que se tarda en formar un suelo nos acerca a la idea más amplia de que el suelo es un recurso natural no renovable esencial para la vida. En el informe del IPCC publicado el 7 de agosto de 2019 se pone de relevancia la importancia del suelo como recurso no renovable clave para la obtención de los alimentos, y sin duda la escala

de tiempo de tiempo necesario para su formación requiere interiorizar la lentitud de este proceso de formación. La segunda pregunta está dirigida a que los estudiantes hagan explícitos sus conocimientos sobre los materiales que forman el suelo, y la tercera se refiere a los factores que influyen en la formación. Las tres preguntas persiguen con sus respuestas que los estudiantes argumenten sobre el marco conceptual de que el suelo es el resultado de la interacción entre diferentes factores, entre los cuales podemos mencionar el clima, los organismos, el tiempo y los materiales (Happs 1981; Núñez 1981). La complejidad de estas interacciones entre los factores de formación justifica la lentitud de esa formación, y por tanto la no renovabilidad de un recurso clave para la seguridad alimentaria de la humanidad.

La cuarta pregunta está dirigida a que los estudiantes reflexionen sobre el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos para compensar los déficits de nutrientes que generan los cultivos intensivos en el uso agrícola del suelo como recurso no renovable y activen su conocimiento sobre las diferentes prácticas de fertilización. Se pretende así que argumenten en la dirección de asentar los conocimientos básicos que demanda el IPCC en su informe de Suelo y Cambio Climático al postular que entre los grandes problemas ambientales que se derivan de ese uso agrícola, destaca el abuso de fertilizantes, lo que evidencia con el dato de que desde 1961, el uso de nitrógeno inorgánico como fertilizante se incrementó por nueve veces. Este tipo de abonos nitrogenados también quedó apuntado como preocupante en el Quinto informe del IPCC del 2015, por las emisiones de N_2O que derivan del uso del uso de fertilizantes, cuyo uso inadecuado y excesivo es una fuente relevante de contaminación del agua. También el uso excesivo de herbicidas y fertilizantes contamina los cursos de agua. Se ponen así también las bases para la atención del alumnado a la recomendación del Quinto informe sobre la aplicación cuidadosa de fertilizantes, la buena gestión del territorio y de los recursos hídricos y el control de la contaminación del agua y del aire reduciendo la carga de nitratos y de las emisiones de N_2O .

Entre las particularidades metodológicas específicas de este caso, destaca el análisis en profundidad de las interacciones, en base a la red sistémica construida para el análisis (figura 3.7) de dos aspectos básicos para interpretar las interacciones entre el profesor y los estudiantes, teniendo en cuenta el rol y agrupamiento de los individuos involucrados en la interacción y la acción que tiene lugar en la etnometodología de construcción de argumentos implicada en este estudio (apartado 3.3).

3.2.3.1.3 Particularidades metodológicas del caso 2

Este estudio se centra en el análisis de los 80 minutos de grabación correspondientes a las dos sesiones mencionadas. Se trata del tiempo que recoge el discurso relativo a las dos cuestiones implicadas en el estudio (una sesión de modelización y otra con una práctica de laboratorio de aplicación del modelo), y que son las más relacionadas con los impactos del cambio climático sobre el suelo. En ellas se responde a estas tres cuestiones:

1. ¿Por qué los suelos graníticos arenosos gallegos, si no son de regadío, secan en el verano?
2. ¿Por qué los suelos arcillosos gallegos presentan grietas en verano y se encharcan en invierno?

3. ¿Existe alguna relación entre los distintos colores del agua filtrada y las diferentes capacidades de retención de la arcilla, del humus y de la arena? (en el contexto una práctica de laboratorio).

En los aspectos específicos de este análisis destaca el análisis de la coherencia e incoherencia de los modelos empleados para obtener las conclusiones, analizando su naturaleza microscópica y macroscópica. Se usa este tipo de análisis para interpretar y descubrir la evolución de los modelos mentales de los estudiantes a lo largo del desarrollo del discurso que les permite dar respuestas a las tres preguntas que se le formulan en este caso, lo que a ellos les permite dar explicaciones efectos de la sequía y a las inundaciones en la fertilidad de los suelos. La particularidad de este estudio de caso radica en el análisis de la ontología de modelos desde modelos incoherentes para la ciencia a modelos válidos para la ciencia escolar. Por eso en el enfoque particularista de este segundo caso se estudia la evolución desde los modelos mentales iniciales con los que interpretan la formación de grietas en suelos arcillosos secos, que antes estuvieron inundados, hasta modelos construidos en la argumentación del grupo que sean más coherentes con el modelo microscópico coherente de la estructura del suelo.

3.2.3.2 Casos 3, 4, 5 y 6: Cambio climático en la educación media superior

3.2.3.2.1 Escenarios y participantes en los casos de ciencias del cambio climático

Estos cuatro casos toman sus datos de textos transcritos generados en coloquios y discursos de grupos de discusión sobre ciencias del cambio climático de 1º de Bachillerato (16 a 17 años). Los discursos se generan dando respuestas a las preguntas de la exposición de Climántica. El instituto en el que se aplicó el estudio está situado en una población de 14.000 habitantes situada en una Ría Baixa de Galicia de nivel medio bajo, en la que la población vive de la pesca, el marisqueo, la agricultura y el pequeño comercio.

La propuesta didáctica partió de una sesión en la que los estudiantes visitaron la exposición sobre origen, evidencias e impactos del cambio climático del proyecto. El profesor explicó los contenidos expresados en cada uno de los ocho paneles que forman la exposición (anexo II) y pidió a los estudiantes que tomaran notas de las preguntas para responderlas en las dos siguientes sesiones. Repitió la propuesta con dos grupos de 1º de Bachillerato de la materia de libre configuración Climántica. Un grupo estaba formado por 27 estudiantes (15 alumnas y 12 alumnos) que habían elegido materias de la modalidad científico-tecnológica (grupo de 1º Bachillerato A) y el otro grupo de la misma materia estaba formado por los 15 estudiantes (9 alumnas y 6 alumnos) que habían elegido las materias propias de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (1º Bachillerato B).

La segunda parte de la propuesta consistió en responder a las preguntas mediante argumentación en grupo clase a través de un coloquio dirigido al conjunto de la clase y conducido por el profesor. Repitió ese coloquio en los dos grupos. En cada grupo dedicó 20 minutos a la visualización y explicación de la exposición en el vestíbulo y 80 minutos al coloquio en el aula (dos sesiones de clase consecutivas en los dos grupos). El discurso de los 80 minutos en los que se argumentó para responder a las preguntas en el grupo de la

modalidad científico-tecnológica (1º de bachillerato A) generó las transcripciones que constituyeron los datos del caso 3 y el discurso de los 80 minutos en los que se argumentó para responder a las preguntas en el grupo de la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales (1º de Bachillerato B) generó las transcripciones que constituyeron los datos del caso 4.

La investigación tuvo continuidad 3 meses después, el día de la entrega de notas, en el que los estudiantes acudieron al centro, pero sin actividad lectiva. Ese día se quedaron seis voluntarios de cada grupo para responder a las preguntas desde la retentiva cognitiva (sin repasos ni presencia de material) de lo vivido tres meses antes. No existió ningún tipo de intervención docente y se les dio el mismo tiempo que tuvieron en la argumentación dirigida por el docente 3 meses antes (80 minutos). El discurso transcrito de la argumentación para responder a las preguntas por el grupo de 6 estudiantes de la modalidad de Científico Tecnológica constituye los datos del caso 5 y el de los 6 estudiantes de la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales constituye los datos del caso 6.

Los 80 minutos analizados con la intervención del docente en cada uno de los grupos clase (casos 3 y 4) y los 80 minutos analizados en cada uno de los grupos de trabajo de cada modalidad sin la intervención docente (casos 5 y 6) utilizan como datos textos transcritos de las grabaciones con una cámara de vídeo de cada una de las sesiones correspondientes a los cuatro casos. Sobre el total de la transcripción se seleccionaron los eventos de interés que contenían el discurso colaborativo de la respuesta a cada pregunta. El discurso de cada uno de esos eventos se representó en un diagrama de flujo, al igual que en los estudios de caso 1 y 2, y como en los dos primeros casos se finalizó con una representación sintética de la argumentación en un esquema de Toulmin.

El conjunto de estos cuatro casos busca, desde un análisis, indagar sobre las influencias de la especialización en la secundaria superior (Bachillerato) en las dos grandes modalidades (Científico-Tecnológica y Humanidades y CC. Sociales) sobre cómo influyen las dimensiones de la intervención del docente y de la retentiva de las capacidades de argumentar y modelizar alcanzadas.

Las preguntas que se seleccionaron para responder mediante argumentación colectiva son:

1. ¿Es malo el CO₂ para la vida?
2. ¿Una diferencia de 3°C en la temperatura media tiene importancia para la vida?
3. ¿Una selva es un sumidero de CO₂?
4. ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?
5. ¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?
6. ¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?
7. ¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?
8. ¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?

9. ¿Cómo puede afectar a Galicia un aumento de temperatura en Groenlandia?

Las nueve preguntas están incluidas en los paneles de la exposición didáctica del proyecto Climática (anexo II) y se le dio la libertad al docente para elegir nueve de todas las que forman parte de esa exposición.

Se trata de una exposición formada por ocho paneles (anexo II), cada uno de los cuales tiene información gráfica, infográfica y textual, figurando también en cada panel 3 preguntas que invitan al espectador a que las responda como reflexión del contenido de cada panel. Entre el total de las 24 preguntas de los 8 paneles, el docente seleccionó nueve cuestiones. En la selección se siguieron los criterios de que al menos una pregunta formara parte de los seis primeros paneles. Cada panel sintetiza uno de los 8 capítulos del primer libro didáctico del proyecto denominado “*¿Cambia el clima?*” (Sóñora y Lires, 2007). Las nueve preguntas seleccionadas forman parte de estos seis paneles:

El panel 1 titulado “*CO₂ temperatura y vida*” aborda las diferencias entre tiempo y clima, la adaptación de especies a climas, los principales biomas y el papel del CO₂ en la regulación de la temperatura. De las preguntas que figuran en el panel se seleccionaron las dos primeras preguntas implicadas en este caso.

El panel 2 titulado “*¿Quién determina el clima?*” aborda los diferentes tipos de radiación solar, sus filtros atmosféricos, el papel de la absorción y posterior emisión de energía infrarroja, el efecto invernadero, el papel de la vegetación en la regulación de los niveles de CO₂ y los bosques juveniles y los océanos como sumideros de CO₂. De las preguntas que contiene se seleccionó la que figura como pregunta número 3.

El panel 3 titulado “*Evidencias del cambio climático*” aborda las evidencias de los datos instrumentales, especialmente las series de temperaturas medias de más de 30 años, el deshielo, las evidencias de la subida del nivel del mar como es el caso del cierre de las compuertas del Támesis, en los seres vivos tanto a nivel fenológico como a nivel de movimientos y periodos migratorios. De su secuencia de preguntas se seleccionó para este estudio de caso la cuarta pregunta.

El panel 4 titulado “*Causas de los cambios climáticos*” expresa las causas de los cambios climáticos normales para fundamentar las características singulares del cambio climático antropogénico, explicando la alteración del ciclo con la apertura de nuevas vías de salida del C de los combustibles fósiles a la atmósfera. De este panel se extrajeron la quinta y la sexta pregunta de este caso.

El panel 5 titulado “*El cambio climático en los ecosistemas terrestres*” recoge información sobre las previsiones de aumento de temperatura establecidas por el informe IPCC 2007. Sobre estas previsiones de incremento de temperatura global del escenario medio, se ilustran con imágenes los datos a los impactos sobre los ecosistemas terrestres que se podrían derivar de esas previsiones. De este panel se extrajo la séptima pregunta de este caso.

El panel 6 titulado “*El cambio climático en los ecosistemas oceánicos*” recoge los datos instrumentales relativos a la subida del nivel del mar y del aumento de su temperatura en Galicia en los últimos 30 años. Mediante recursos gráficos se relacionan el aumento de la temperatura del océano, con el deshielo y la subida del nivel del mar. También se recogen en

este panel posibles impactos en el medio oceánico que se podrían derivar del escenario medio planteado en el informe IPCC 2007. De este panel se extrajeron las preguntas octava y novena. Para cada uno de los casos se formularon sub-preguntas particularistas de análisis de clases basadas en el esquema de la figura 3.1, y que quedan expresadas en la introducción del capítulo 4. Siguiendo esas sub-preguntas se hizo una interpretación con estilo comparativo que permitió obtener conclusiones

3.2.3.2.2 Particularidades metodológicas de los casos 3 y 4

Los datos se obtuvieron mediante una cámara de vídeo con un micrófono de ambiente que se situó en la parte de atrás del aula y el profesor siempre identificó a cada estudiante por su nombre de pila en el grupo, lo que facilitó la transcripción, aunque esos nombres se cambiaron en el estudio, para garantizar el anonimato. Por tanto, esos nombres de pila que facilitaron las transcripciones, como en todos los casos, no son los que figuran en las transcripciones. Se trata de clases impartidas por el profesor de la materia de libre configuración de Climática para desarrollar los procesos de enseñanza y aprendizaje sobre las evidencias, causas y consecuencias del cambio climático realizando las actividades de esa propuesta didáctica. La unidad se desarrolló en el momento del curso en el que figuraba el cambio climático en la programación didáctica que se impartió antes de las vacaciones de Semana Santa.

Para tener continuidad de dos sesiones en el desarrollo de la unidad didáctica, el profesor cambió con otros colegas para tener las dos sesiones consecutivas. Inició las dos sesiones consecutivas de clase (100 minutos) dedicando los primeros 20 minutos a analizar el contenido de la exposición, que esa semana permaneció del lunes a viernes en el hall del centro educativo.

Una vez analizada la exposición del hall, cada uno de los dos grupos volvieron de clase del grupo, donde se desarrolló, en los restantes 80 minutos por grupo, el coloquio que generó el discurso objeto de análisis en los casos 3 y 4. También le acompañó como observador – colaborador el profesor del mismo departamento didáctico que impartía ese curso a muchos de los estudiantes la materia de Biología y Geología. El tercer docente que asistió fue el docente – investigador que actuó como observador externo.

Los 80 minutos en los que se desarrolló el discurso objeto de análisis en los casos 3 y 4 se dedicaron a un coloquio en grupo aula dirigido en todo el momento por el profesor. Para su conducción el profesor fue formulando la secuencia de 9 preguntas y conduciendo en todo el momento la argumentación para conseguir extraer los datos, justificaciones, teorías y modelos para llegar a las conclusiones. En determinados momentos se apoyó en el profesor observador que impartía clase al mismo grupo de Biología y Geología, que actúa así como comodín y apoyo en la conducción de la argumentación.

El análisis del discurso de los cuatro estudios de caso sobre cambio climático tiene dos dimensiones comparativas. Una dimensión toma como referencia la variable de especialización propia del bachillerato. Por eso, a partir de los mapas y esquemas del discurso obtenidos en los casos 3 y 4, se procederá a su comparación (respondiendo a PI2) buscando información sobre la relevancia de la especialización que suponen las dos modalidades de bachillerato, tanto a nivel epistemológico y de evolución de los modelos mentales, como a nivel del propio desarrollo de las capacidades de argumentación. Esta primera dimensión

incluye también el análisis comparativo de la influencia del docente. Este análisis del papel del docente va a tener también relevancia en los dos últimos casos que se describen en el siguiente sub-apartado (casos 5 y 6) porque con esos dos últimos casos se busca medir la retentiva cognitiva (respondiendo a PI3) tres meses después (PI3-SPCC1 para la comparación de casos 3 y 5 y PI3-SPCC2 para la comparación de los casos 4 y 6). Por tanto, cada uno de los casos 3 y 4 se comparará con su espejo de argumentación, sobre las respuestas a las mismas preguntas sobre la exposición, formuladas a un grupo de debate de 6 estudiantes 3 meses después para medir retentiva cognitiva, por lo que en este espejo de la muestra de 6 estudiantes de cada grupo no interviene el docente ni se consulta ningún material didáctico. Los casos 3 y 4 tendrán un análisis comparativo entre ellos desde la respuesta a la segunda pregunta de investigación principal (PI2). Pero al mismo tiempo el caso 3 tendrá una comparación intensa, con este enfoque metodológico comparativo, con el 5 que se analiza en el siguiente sub-apartado (respondiendo a SPCC1), y el caso 4 con el 6 (respondiendo a SPCC2), que también se describe en el siguiente sub-apartado. Desde las comparaciones de las respuestas a las dos primeras sub-preguntas de comparación de casos (SPCC1 y SPCC2) y teniendo presente también las respuestas a PI2, se responde a la tercera sub-pregunta de comparación de casos (SPCC3) correspondiente a la tercera pregunta de investigación principal (PI3). Se responde a esta tercera sub-pregunta de comparación de casos (SPCC3) para analizar la influencia de la modalidad en la retentiva cognitiva que implica a los dos últimos casos (casos 5 y 6) que se describen en el siguiente sub-apartado. Siguiendo este mismo enfoque comparativo, los cuatro casos de cambio climático también tomarán como referencia los casos 1 y 2 como intermedios en la intensidad de la intervención docente a los casos 3 y 4 por un lado (alta intensidad de participación docente) y a los casos 5 y 6 por otro (nula intensidad de la intervención docente, al apoyarse sólo en la retentiva cognitiva de las sesiones de tres meses antes).

3.2.3.2.3 Particularidades metodológicas de los casos 5 y 6

Son los casos correspondientes a la argumentación de los equipos de 6 estudiantes voluntarios de cada una de los grupos voluntarios (muestra de voluntarios espejo de su grupo clase) que respondieron a las 9 preguntas 3 meses después, sin usar ningún material ni hacer ninguna revisión ni repaso, para que lo argumentado no requiriese de nada más que la retenido en su estructura cognitiva de la validez de argumentos y modelos logrados tres meses antes, no participando para ello en ningún momento el docente ni consultando ningún tipo de material. También permite poder poner el foco en la diferencia de la conducción docente con la conducción autónoma de los estudiantes. Los datos se obtuvieron mediante una cámara de vídeo que se movió por el exterior del semicírculo en el que se dispuso el equipo. La cámara se mantuvo siembre en un plano de enfoque que permitió visualizar los rostros de todos los estudiantes para facilitar las posteriores de transcripción. Las imágenes quedaron recogidas en una única película de 80 minutos. Los nombres reales de los estudiantes, al igual que ocurre en los demás casos, no se usan en las transcripciones recogidas en este trabajo, y los estudiantes y sus familias fueron informados de que el único objetivo del uso de la cámara era generar textos transcritos con emisores anónimos, por lo que una vez recogidos los datos la grabación se borraría, y con esta comunicación se gestionaron los correspondientes permisos, tal y como se hizo también en los casos 1 y 2. Los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica se denominaron con nombres que empiezan con la inicial C y los de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se denominaron por nombres que empiezan por S.

Estos dos últimos estudios de caso se diseñaron para analizar e interpretar el discurso correspondiente a la argumentación grupal de un equipo seis (6) de estudiantes por cada una de las modalidades, que ahora responden a las mismas preguntas que formuló su profesor tres meses antes, cuyas respuestas generaron de aquella el discurso que se analizó en los casos 3 y 4. Los casos 5 y 6 se comparan teniendo presente a su vez sus comparaciones con sus espejos en el caso 3 (PI3-SPCC1) y el caso 4 (PI3-SPCC2) respectivamente, y en menor medida también las respuestas a PI2, teniendo por tanto presente el discurso que se generó tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor. Desde la comparación de las respuestas a las dos primeras sub-preguntas y teniendo presente también, en menor medida, las respuestas de PI2, se comparan los casos 5 y 6 entre ellos, buscando responder a la tercera sub-pregunta de comparación de casos (PI3-SPCC3) de las tres que apoyan la respuesta a la tercera pregunta de investigación principal (PI3), centrando la atención en que en estos dos últimos casos el discurso se generó sin usar más información que la que retenía su memoria en esos momentos.

En estos estudios de caso se analizaron 80 minutos en el equipo de 6 estudiantes del grupo de la modalidad Científico-Tecnológica (el mismo tiempo que tres meses antes dedicó el docente a la argumentación) y otros 80 minutos en el equipo de 6 estudiantes del grupo de la modalidad Humanidades-Ciencias Sociales. Los seis estudiantes abordaron la construcción colectiva del discurso correspondiente a las respuestas de las mismas preguntas respondidas tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor. Los seis estudiantes que formaron cada uno de estos dos grupos de trabajo fueron estudiantes voluntarios para participar en esta experiencia en el último día lectivo del curso, en el que los estudiantes solo tenían que asistir al centro a recoger el boletín de calificaciones y a realizar actividades complementarias que seleccionaban entre varias opciones en las que estaba esta. Todos ellos tenían que cumplir la condición de haber participado en los 80 minutos de argumentación conducida por el docente 3 meses antes. Con esas grabaciones se siguió la metodología de análisis del discurso común a los seis casos y que se describe en el siguiente subapartado que aborda la metodología general de análisis del discurso para los seis casos.

En estos casos se retomó en cierta manera el interés específico de los dos primeros estudios de caso y se tuvo presente la necesidad de comprobar como los seis estudiantes colaboraron, para poder comprobar si la ausencia del docente influye en la seguridad, síntesis, amplitud, profundidad y propiedad de la argumentación y de su potencial para avanzar en modelos mentales. Llamó la atención de que el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales un estudiante no hizo ninguna aportación. En esa misma línea el análisis también se orientó a conocer en qué medida las pautas y estrategias seguidas por el docente para generar argumentación quedó en la retentiva del alumnado. Así mismo se quiso indagar sobre el tipo de liderazgos surgen para suplir el liderazgo del docente, así como la comprobación de nuevas estrategias de argumentación aparecen al tener que enfrentarse los estudiantes solos al reto. Por tanto, la metodología específica inherente a este caso se orientó a identificar desarrollos de capacidades de argumentación y modelización en contextos curriculares no ordinarios (voluntarios en el tiempo de actividades complementarias de fin de curso) en los que no existe ninguna participación del docente en la argumentación de un equipo de seis estudiantes, siguiendo las mismas cuestiones y buscando analizar la argumentación del discurso de las respuestas a las mismas preguntas sobre las que se argumentó 3 meses antes, de aquella siguiendo un coloquio conducido por el docente. También persiguió comparar los análisis de la argumentación desarrollada en el discurso obtenido en un coloquio anterior, que implicó a toda la clase, con el desarrollado sobre las

respuestas a las mismas cuestiones, tres meses después, cuyas argumentaciones quedaron contenidas en el discurso de los dos grupos de trabajo de seis participantes, en este caso sin la intervención docente. Este enfoque metodológico singular de estudio de estos dos últimos casos se orientó así a averiguar en qué medida se retienen en su estructura cognitiva las capacidades de argumentación y modelización adquiridos tres meses antes, en el coloquio dirigido por el docente. Interesa, en la especificidad de este estudio de caso, valorar de forma comparativa en los dos grupos de los dos casos, como se retienen en cada una de las dos modalidades. Se valoran de forma comparativa en qué medida esa retentiva aporta buenos desempeños en argumentación y modelización, también ahora en un coloquio orientado por la misma secuencia de preguntas, pero esta vez en coloquios llevados por la colaboración de equipos de seis estudiantes de cada una de las modalidades, sin la intervención en ningún momento del docente, y sin consultar ningún tipo de material didáctico. Esta ausencia de intervención docente y de uso de materiales didácticos, se hace para medir la dimensión de retentiva de las capacidades de argumentación y modelización conseguidas tres meses antes.

3.3 EL ANÁLISIS DEL DISCURSO EN LOS SEIS CASOS

3.3.1 La importancia del análisis del discurso para la tesis

El análisis del discurso es una dimensión metodológica común al conjunto de la tesis debido a que los datos de los que parte proceden de procesos de comunicación desarrollados dentro de grupos de clase de secundaria básica y superior. En cuatro de los seis casos se produce la participación del docente en la construcción de ese discurso con mayor intensidad en los casos 3 y 4 y menor intensidad en los casos 1 y 2. Al mismo tiempo, el hecho de que este discurso se generara en el marco del estudio de casos que se describió en el subapartado anterior, supone que el estudio del uso del lenguaje para analizar su argumentación se haya generado en contextos singulares (Gee y Handford, 2013). Este enfoque metodológico determina que el proceso de enseñanza y aprendizaje se desarrolle en comunidades de aprendizaje sobre ciencias del suelo y ciencias del cambio climático vinculados respectivamente a la secundaria básica (3ºESO) y a la secundaria superior (Bachillerato).

Para crear esas comunidades de aprendizaje se diseñaron propuestas didácticas específicas que llevó a los estudiantes a analizar conjuntamente diseños experimentales de laboratorio, textos y a responder colectivamente a preguntas relativas a los textos y paneles de exposiciones del conocimiento científico. Por eso se optó por trabajar con actividades cuya realización implicara construir discursos orales generados para argumentar en coloquios – puestas en común en grupos clase y pequeños grupos de trabajo (de cuatro miembros en los casos 1 y 2 y de seis miembros en los casos 5 y 6). Se buscó así generar contextos favorecedores de diálogos, discusiones, debates y coloquios orientados a favorecer el intercambio de ideas entre iguales, lo que nos da acceso a sus razonamientos (Kelly et al., 1998) y a tomar decisiones colaborativas y consensuadas.

Esta apuesta metodológica por la génesis y análisis de comunicaciones orales que actúen como fuentes de datos, teniendo presente el marco constructivista de la investigación, resulta especialmente relevante en las clases de ciencias, porque el conocimiento científico se construye apoyándose en este tipo de debates, discusiones y consensos. Además, la expresión oral es importante en cualquier proceso didáctico de enseñanza y aprendizaje debido a que el docente transmite conocimientos y los estudiantes muestran que los entienden y asimilan a través del lenguaje oral (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003). Esta importancia

del lenguaje quedó acuñada por Lemke (1997) como “hablar ciencias”, por lo que en la enseñanza de las ciencias no sólo hay que saber de ciencias, hacer ciencias, sino también hablar de ciencias.

Además, a partir del informe IPCC del 7 de agosto de 2019, los medios de comunicación abordan con frecuencia los efectos del cambio climático con la fertilidad del suelo y sus posibles efectos negativos preocupantes sobre la seguridad alimentaria. Por ese motivo es importante que los estudiantes se formen en la práctica y evaluación de estrategias de argumentación oral sobre estos temas. En esa línea la metodología apuesta por tener presente los tipos de habla, o discurso, que se pueden dar cuando los estudiantes trabajan en grupos (Wegerif y Mercer, 1997): de disputa, de construcción de conocimientos por acumulación de ideas que se van aportando a medida que fluye el discurso y de crítica y oposición constructiva con aportaciones en forma de sugerencias y apartaciones de diverso tipo.

El análisis del discurso es muy útil como opción metodológica para este estudio por su capacidad de desarrollar e interpretar los procesos de evolución de los modelos mentales a través de la argumentación. Los modelos mentales juegan un papel central en la argumentación contenida en el discurso elaborado en la interacción de las personas para buscar, construir y reconstruir significados en comunidades de aprendizaje. En esa colaboración discursiva se generan argumentos que pueden facilitar la evolución de los modelos mentales de los componentes del grupo dialógico (Van Dijk, 2012). En esta línea de evolución de los modelos juegan un papel central las justificaciones que ligán datos con conocimiento básico en la búsqueda de conclusiones consensuadas (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003).

3.3.2 Método para el análisis del discurso de los seis casos

3.3.2.1 Identificación de los eventos de interés definitorios de argumentos

Un evento de interés es aquel fragmento de discurso que contiene un argumento. Para alcanzar esa consideración debe llegar a una conclusión, usando para ello datos y conocimiento teórico básico relacionado por justificaciones. Las propuestas didácticas se diseñaron buscando intencionalmente generar una secuencia de preguntas y/o desafíos formulados a través de la secuencia de actividades. Se idearon esas actividades para que a partir del reto los estudiantes se vieran en la necesidad de incorporar en el discurso datos, conocimiento teórico básico y justificaciones que permitan llegar a conclusiones que encierren los argumentos (Duschl et al., 1999) que puedan permitir explicitar en cierta medida modelos mentales con sus posibles avances en su proceso de maduración.

La unidad de análisis para la categorización de la transcripción, tanto de las interacciones como de las argumentaciones, son los “turnos de intervención”. Un turno empieza cuando una persona toma la palabra y finaliza cuando lo hace otra persona. Estas unidades de análisis toman como referencia los “giros” en los términos establecidos por Hogan (1999), “un giro comenzó cuando una persona tomó la palabra de una conversación y terminó cuando otra persona toma la palabra” (p. 387).

3.3.2.2 Categorización de los turnos de intervención y esquemas de Toulmin

El análisis de la argumentación se efectuó mediante el esquema de Toulmin (1958), adaptado en base a diferentes propuestas hechas para el análisis del discurso en clase (Álvarez, 1997, Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993). Las categorías que se establecieron para el análisis de cada turno de intervención fueron las siguientes: “justificación” (afirmaciones que justifican la conexión entre los datos y las conclusiones, “respaldo” (conocimientos de naturaleza teórica, usado para el apoyo de la justificación), “datos hipotéticos e empíricos” (hechos, observaciones, datos, .que sirven de partida para llegar a una conclusión), “desafíos” (cuestionan la validez de una información), “oposición” (cualquier afirmación que niegue lo que fue afirmado por otro) “concesión” (cualquier afirmación que conceda algo a un destinatario admitiendo un punto de vista); “calificadores modales” (afirmación que especifica las condiciones que se tienen que dar para aceptar la hipótesis), “refutaciones” (especifican las condiciones para descartar la hipótesis).

Cada rectángulo de un esquema de Toulmin representa una categoría de Toulmin (indicado con mayúscula en el esquema representada en la figura 3.2) que se le asigna a un enunciado relevante del evento de acuerdo con el esquema de Toulmin y cuyo texto del enunciado se redacta en el interior de cada cuadrado donde en esta figura 3.2 aparece, en mayúsculas la categoría del rectángulo que le otorgan la ubicación en el esquema y las palabras conectoras sobre las líneas. Este texto síntesis que va dentro del rectángulo debe redactarse en minúscula. Todas las categorías de Toulmin de un argumento deben estar unidas entre ellas por líneas, siendo horizontal solo la línea que une los datos con la conclusión, y todas las demás son líneas verticales. Cada línea implica un texto conector que depende de las categorías que conecta (ver figura 3.2).

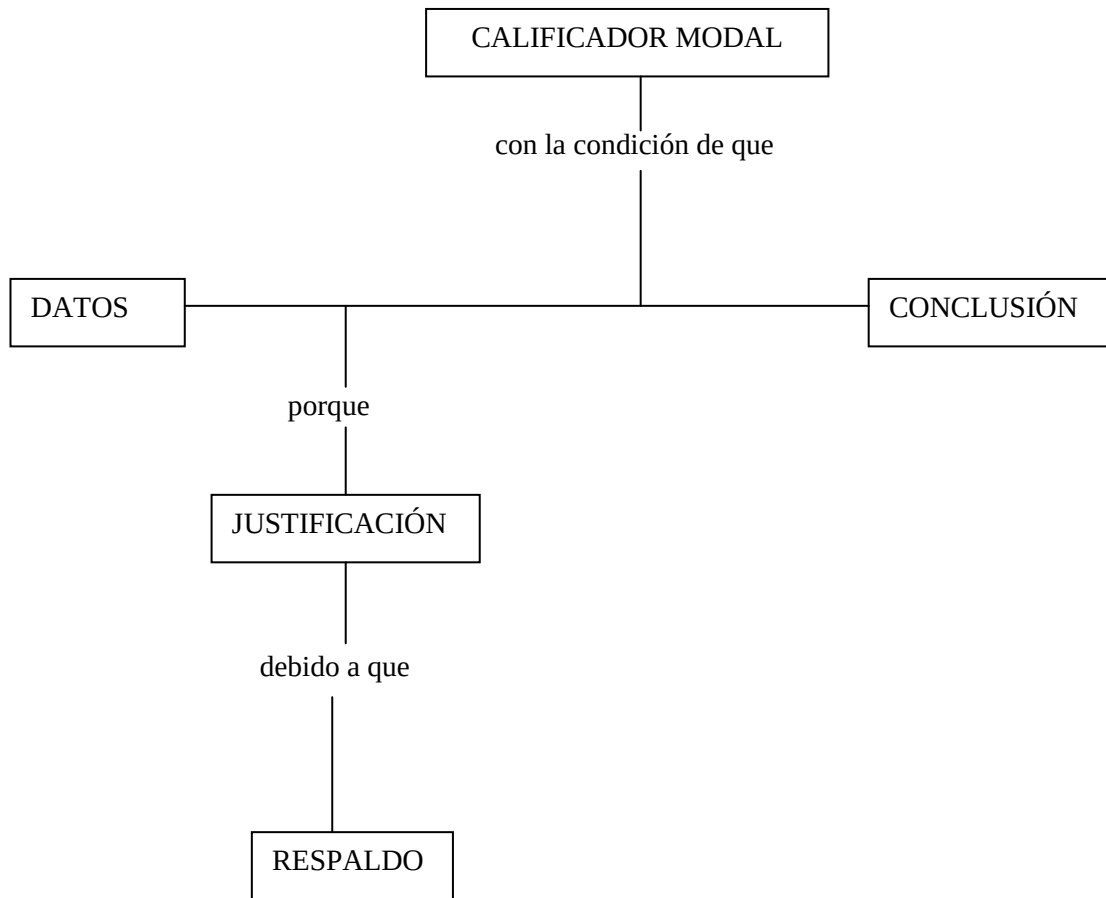


Figura 3.2 Representación de un modelo de esquema de Toulmin.

Se parte de los *datos* que van en el rectángulo más a la izquierda y que conduce a través de la línea horizontal al rectángulo *conclusión*, siendo el conector de esa línea horizontal “por tanto”. Todo argumento lleva al menos una *justificación* que va en un rectángulo unido por una línea vertical con la horizontal. El conector que se coloca en esa línea vertical que une la justificación con la conclusión es “porque”. A su vez la justificación debe estar respaldada por un conocimiento básico teórico cuya categoría se conoce como *respaldo*. Los rectángulos de los respaldos van unidos a sus correspondientes justificaciones a través de líneas verticales que llevan los conectores “debido a que” o “según se explica”. En determinados argumentos para que los datos puedan conducir de forma coherente a la conclusión se requiere que se den determinados condicionantes. Estas condiciones y/o restricciones que hay que considerar constituyen la categoría de *calificador modal*. También se conecta con la línea horizontal mediante una línea vertical que implica el texto conector “siempre y cuando” o “con la condición de que”.

Siguiendo el enfoque de extraer información sobre evolución de modelos mentales en la argumentación grupal, se tuvo presente lo expresado por Sardà y San Martí (2000) de que la argumentación no legitima solo la concordancia entre los hechos y la conclusión, sino también la validez total del texto transcrito que le da su coherencia. Por eso interesa comprobar que los argumentos presentan la validez formal de los diferentes componentes básicos expresados en la figura 3.2. Los argumentos, además de presentar la necesaria

concordancia plena de los hechos con la conclusión siguiendo una justificación aceptable, para que tengan validez para el análisis de los modelos mentales implícitos y las evoluciones de los mismos hacia sus referentes en la ciencia escolar, la justificación aceptable debe estar apoyada por un conocimiento básico claro y oportuno que refuerce así la validez de la conclusión.

En el marco de la indagación sobre la modelización, interesa el análisis de esta coherencia en las conclusiones a las que llegan las comunidades de aprendizaje a través de discursos de co-construcción de argumentos. Se comprueba la coherencia de estas conclusiones con los modelos de ciencia escolar, porque tal y como afirma Duschl (1997), las teorías, principios y modelos son conclusiones a los que se llega a través de un proceso que relaciona los hechos con las conclusiones y que los datos de partida toman significación con la conclusión. Por eso se debe analizar la concordancia entre los hechos y las conclusiones a través de justificaciones que se puedan considerar aceptables por el conocimiento básico usado. De esta forma la aceptabilidad de las justificaciones pasa a ser clave en la valoración de los argumentos, con especial énfasis al paso de justificaciones relacionadas con la vida cotidiana con las justificaciones científicas que tienen que estar respaldadas por modelos científicos.

Por eso se examina la validez del argumento comprobando si usa justificaciones apoyadas en respaldos que provengan de modelos de ciencia escolar, de evidencias que obtienen de experimentaciones escolares o incluso aquellas que se obtienen de la vida cotidiana, pero en este último caso con la condición de que sean coherentes con la ciencia. De esta forma la justificación adquiere un papel relevante en la valoración del argumento y esta viene determinada porque tenga respaldos de conocimiento básico. Como herramienta para la valoración de los argumentos en el marco de este estudio se elaboró la rúbrica expresada en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Rúbrica para valorar la calidad de los argumentos.

CATEGORÍA DE TOULMIN	PATRONES DE REFERENCIA PARA VALORACIÓN	PUNTOS
1. Hechos	1a. Parten de datos empíricos comprobados por la ciencia u obtenidos mediante diseños experimentales	3
	1b. Se apoya en hechos hipotéticos con coherencia científica	2
	1c. Parte de hechos sin que se visualice con claridad explícita ni implícita con el conocimiento científico	1
2. Justificación	2a. Expresa una concordancia plena entre los hechos y conclusiones con conexiones explícitas con conocimiento básico correcto y oportuno	3
	2b. La concordancia aceptable los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimiento básico	2
	2c. No existe un apoyo explícito ni implícito de un conocimiento básico en la justificación	1
3. Conclusión	3a. El enunciado explicita con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar el modelo científico coherente	3
	3b. Del enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento	2
	3c. Formula una conclusión en términos de conceptualización propia de un modelo, pero ni a nivel implícito se le encuentra relación con el modelo	1

3.2.3.3 Mapas del discurso como herramienta metodológica general para analizar la colaboración cronológica en la génesis de discurso colectivo para la cognición

Los Mapas del discurso (Hogan et al, 2000) se utiliza como una herramienta metodológica aplicado a la totalidad del discurso analizado en los seis casos, usando este procedimiento en el método general de análisis del discurso como un paso intermedio entre la transcripción y categorización y la representación en diagramas del discurso de Toulmin (1958). Resulta una herramienta clave en el método para conseguir los objetivos y responder a las preguntas de investigación de esta tesis porque describen el proceso cronológico y el contenido de la colaboración de las comunidades de aprendizaje implicadas en el desarrollo del discurso para la construcción de la cognición que favorece la evolución de los modelos mentales.

Aunque los enunciados puedan experimentar en algunos casos una cierta concreción en relación a los categorizados inicialmente, mantienen con más fidelidad los textos de la transcripción que los esquemas de los argumentos (Toulmin, 1958). Se construyen a partir de la categorización de Toulmin y de la secuencia de intervención en las interacciones recogidas

en las tablas de transcripciones de los turnos de intervención de los argumentos contenido en los eventos de interés seleccionados en los casos 1 y 2 y del discurso de las respuestas a las nueve cuestiones de los casos 3, 4, 5 y 6. Se trata de una representación de la secuencia y contienen una segunda categorización sobre el papel que tiene el turno de intervención en la construcción del argumento, según sea una pregunta (hexágono), una aportación de conocimiento básico (rectángulo) o una reflexión metacognitiva (óvalo). Por tanto, los turnos de intervención de esos eventos de interés, que ya están inicialmente categorizados según las categorías de argumentación de Toulmin, pasan ahora por un segundo paso de categorización para incorporar en ellos las categorías propias del mapa del discurso. Estas se hacen siguiendo tres tipos de categorías que Hogan (2000) asigna a estos enunciados seleccionados como principales para formar parte del mapa. Las tres categorías usadas son: conceptual (rectángulo), metacognitivo (óvalo) y de preguntas –consultas (hexágonos). Se aplicará tanto a los enunciados de los episodios cronológicos seleccionados por su relevancia para la construcción o reconstrucción de modelos mentales generados por estudiantes como a profesores. Se realiza un mapa por cada evento de interés seleccionados en los casos 1 y 2 y por cada una las respuestas a las preguntas de los casos 3, 4, 5 y 6.

Después de realizar lecturas repetidas de transcripciones de los argumentos se seleccionan los textos de los turnos de intervención relevantes para la argumentación que lleva a la representación mental y en su caso a la construcción o reconstrucción de modelos mentales. Los textos de los turnos de intervenciones textuales seleccionadas en orden cronológico, cuando sea oportuno, se adapta su redacción para adaptarlo más al marco cognitivo. También se incorpora ese texto a la forma correspondiente que Hogan (2000) le asignó a cada aportación relevante de las tres categorías principales seleccionadas: rectángulos para la categoría conceptual, óvalo para la metacognitiva y hexágono para preguntas-consultas. Con esa asignación de una de las tres categorías (conceptual, metacognitivo y de preguntas-consultas) se señala la naturaleza de su relevancia para la evolución del discurso en el sentido de su iniciación, enfoque, sostenibilidad y profundidad del diálogo. Ese flujo avanza la dirección de la argumentación hacia el aprendizaje científico de los miembros de los grupos participantes en la búsqueda de respuestas mediante la argumentación colectiva de la comunidad de aprendizaje. Las tres categorías establecidas por Hogan et al. (2000) quedan descritas de la siguiente forma:

1. Con la categoría conceptual se designa la naturaleza de enunciados conceptuales: observaciones, ideas, conjeturas, inferencias y afirmaciones
2. La categoría de preguntas y consultas comprende las preguntas, incógnitas que suponen solicitudes directas de información.
3. La categoría metacognitiva recoge todo tipo de enunciados con expresiones de carácter metacognitivo entre las que destacan aquellas relativas a la gestión y regulación del desarrollo de la acción de la tarea (lo que se tiene que hacer), los enunciados de naturaleza evaluativa que evaluaron el grado de progreso o comprensión del grupo (lo que sabemos y lo que desconocemos) y los enunciados relativos a la naturaleza y los objetivos de las tareas que se está desarrollando.

Este método de análisis busca conocer si las interacciones verbales y el procesamiento cognitivo de los estudiantes son diferentes cuando dialogan sobre ciencias del suelo y cambio climático sólo con sus compañeros o lo hacen bajo la estructuración y dirección del docente.

También interesa saber si en la enseñanza media superior, en la que aparece la especialización, hay diferencias en las estrategias de argumentación y/o en proceso de modelización si el diálogo es de estudiantes de la modalidad científico-tecnológica o son de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

Se busca así comparar en qué medida las opiniones y familiaridad en los eventos de interés de intervenciones de los estudiantes sin la intervención docente inciden en la cognición cooperativa emanada del desarrollo de la argumentación del discurso de forma diferente a aquellos eventos en los que trabajan en una estructura organizada y dirigida por el docente. También se persigue comprender si la especialización epistemológica de las dos modalidades de bachillerato incide, de alguna forma, en las capacidades de argumentación y en la coherencia de los modelos mentales, que se construyen o reconstruyen con la argumentación, con los modelos de ciencia escolar. Por eso el enfoque metodológico de análisis del proceso de modelización a través de la argumentación se centra principalmente en la construcción de conocimiento (Cobb y Yackel, 1996).

El enfoque metodológico del uso generalizado de los mapas del discurso en los seis casos viene determinado por la relevancia que el estudio le da al uso del discurso de los estudiantes como fuente primaria de datos para examinar su razonamiento científico en la argumentación y su posible incidencia en procesos de modelización. Interesa conocer como realizan las co-construcciones de explicaciones, argumentos y modelos a partir de sus propias observaciones y datos dentro de los contextos del aula. Este método pone el foco en el trabajo colaborativo de los estudiantes y el interés en investigar nuevos procesos de enseñanza y aprendizaje para la introducción eficaz en los currículos de las disciplinas de Ciencias de la Naturaleza de los retos ambientales globales abordados en este estudio. Por eso interesa investigar la importancia que puede tener que los educadores de ciencias vean las aulas de ciencias como comunidades científicas en el que la enculturación y la construcción del conocimiento personal se entrelazan (Driver et al., 1994).

En la figura 3.3 se muestra el modelo de mapa de discurso que se usa en el estudio y que resulta de la adaptación del desarrollado por Hogan et al. (2000) pero que se modificó para usarlo en la clave del método de análisis de este discurso.

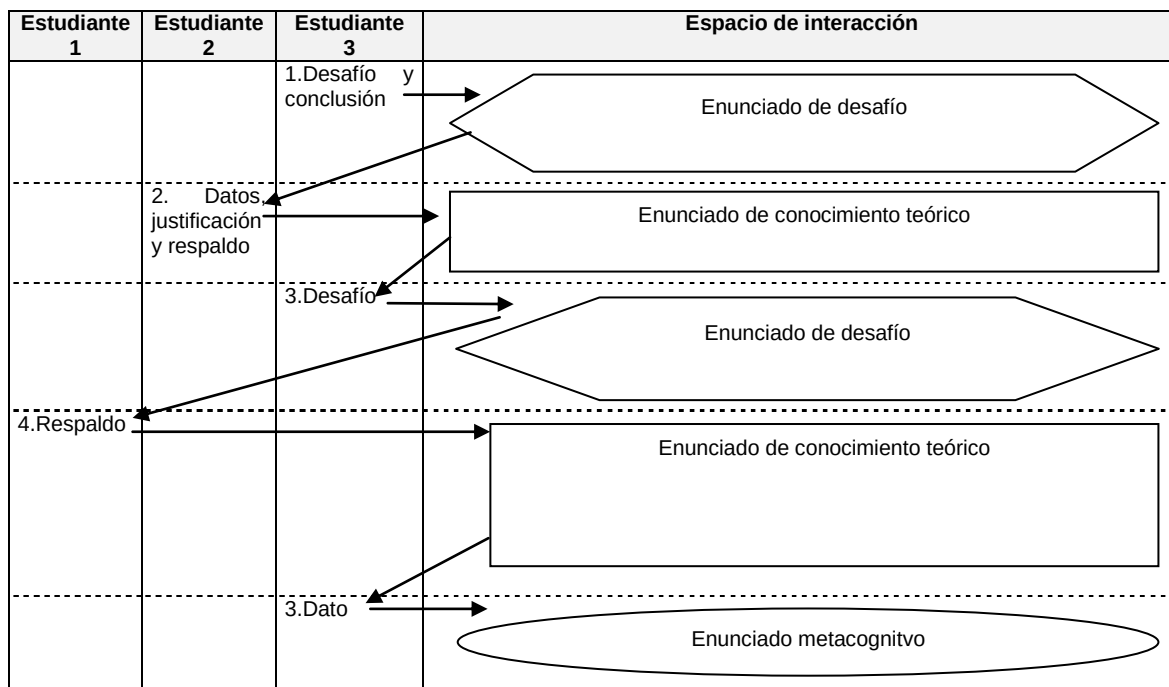


Figura 3.3 Representación de un modelo de Mapa de Discurso (adaptado de Hogan, 2000).

En esta adaptación el contenido de la discusión, al que Hogan et al. (2000) destina la parte central, aquí se pone a la derecha, situando todas las intervenciones a la izquierda y dejando al docente en la columna más próxima del espacio de espacio de interacción de la columna de la derecha. Al igual que en el mapa de Hogan et al. (2000) las declaraciones conceptuales aparecen en recuadros, preguntas y consultas en hexágonos y declaraciones metacognitivas en óvalos. El discurso se representa con la cronología de su génesis y por eso se mueve de cada participante en la discusión. Los participantes están representados en columnas adyacentes que en esta modificación quedan a la izquierda del espacio de interacción. Las flechas conducen hacia y desde las columnas de participantes y el espacio de interacción para indicar el flujo conversacional. De esta forma se visualiza la construcción del discurso desde quién está contribuyendo y construyendo sobre la sustancia de la discusión. Se adopta así los Mapas del Discurso (Hogan et al., 2000) como una herramienta metodológica de la metodología general de esta tesis para realizar una foto fija gráfica sinóptica de los datos del diálogo. Se usa en el método general para el análisis del discurso como un paso en el método para ayudar a construir representaciones de esquemas de Toulmin con seguridad, rigor y propiedad. Esta ubicación de los Mapas del Discurso como segundo paso del método de análisis del discurso de esta tesis, como paso intermedio entre la categorización y representación esquemática de los argumentos con esquemas de Toulmin, implica situar, debajo del número de la intervención en la secuencia representada, las categorías de Toulmin que figuran en esa intervención en la tabla de la transcripción del evento de interés generada en el primero paso del método. Los mapas del discurso, además de funcionar así como segundo paso del análisis del discurso previo a la obtención de las representaciones esquemáticas de los argumentos, incorpora elementos del análisis de las interacciones en las claves de clarificar como los aspectos etnográficos y de interacción en las comunidades de aprendizaje co-productoras del discurso (ver subapartado 3.4), pueden ayudar a generar o modificar modelos mentales iniciales de los estudiantes que forman la comunidad de aprendizaje (ver sub-aparado 3.5)

La figura 3.4 constituye una representación de una secuencia de interacción (Hogan et al., 2000). Se trata de la unidad que comienzan cuando un hablante hace un enunciado o declaración conceptual, metacognitiva o que plantea una pregunta o consulta. Para asignar a un fragmento de discurso el valor de Secuencia de interacción con valor potencial de constituir un evento de interés contenedor de un argumento se sigue a nivel general los criterios establecidos por Hogan et al. (2000). En este caso al menos a la declaración o enunciado inicial debe seguirle otro enunciado o declaración de otro orador. La secuencia de interacción termina cuando un participante retrocede del flujo de la interacción al plantear una nueva pregunta o consulta; o aporta un metacomentario que regula, enfoca o evalúa la acción; o bien introduce una declaración conceptual que reenfoca la discusión lejos de una secuencia epistémica metacognitiva. En general se considera que cada vez que se plantea una nueva consulta o pregunta, comienza una nueva secuencia de interacción.

Tal y como afirman Hogan et al. (2000) no todas las declaraciones conceptuales y metacognitivas inician una nueva interacción. Esto tiene especial relevancia en este estudio por la posición de esta herramienta metodológica como segundo paso del método general de análisis del discurso. Por esa ubicación de segundo paso en el análisis, la asignación de secuencia de interacción, además de los límites definitorios fijados por Hogan et al. (2000), se le añade la condición de que el cierre por retroceso del flujo coincida con un enunciado o declaración interpretable en términos de conclusión vinculada a los datos implícitos o explícitos relacionados con el enunciado desafío de arranque. Entre estas formas de iniciación y cierre deben aparecer enunciados o declaraciones intermedias del flujo en las que exista al menos una justificación respaldada por algún elemento teórico que forme parte del conocimiento científico básico. Todos los enunciados o declaraciones deben ir enumerados con el número de orden de la secuencia temporal de la génesis y desde la declaración inicial sale una línea formada por una secuencia gráfica sumatorio de flechas de tal forma que la flecha parte del enunciado impulsor del siguiente enunciado al que apunta su extremo, y así hasta llegar a la conclusión de cierre.

En la línea de ampliar estas secuencias de interacción, más allá del valor que tienen los mapas del discurso como segundo paso de análisis, situado entre la categorización de la argumentación de los enunciados de turnos de intervención hasta la representación de esquemas de argumentos en el Toulmin (1958), se vinculan los mapas del discurso a la etnometodología de estudio. Esto es así porque también son útiles en esta investigación en los análisis de las interacciones (subapartado 3.4) y de la modelización (subapartado 3.5). Para ese uso se aplicó el sistema de codificación de secuencias de interacción de Hogan et al. (2000). Por eso a lo largo del análisis y discusión de los resultados, se hacen codificaciones utilizando las siguientes categorías de secuencias de interacción:

- 1) Consensuadas: cuando solo un hablante contribuyó con declaraciones sustantivas (ya sean conceptuales, metacognitivas o preguntas-consultas) a la discusión (figura 3.4) y el otro orador respondió a la iniciación hablante sin hacer aportaciones significativas por: (a) simplemente estar de acuerdo con la declaración, (b) reconocer pasiva o neutralmente la declaración, (c) aceptar activamente lo que se dijo y, por lo tanto, alentar que el hablante continúe, o (d) repitiendo la declaración anterior literal. Por tanto, en secuencias consensuadas, un participante llevó la conversación, con uno o más oradores, sirviendo como una audiencia mínimamente activa verbalmente. Se trata de secuencias simples que a menudo duran solo unos pocos turnos, a veces incluso los dos que se consideran como mínimo para valorar si se toma como secuencia de interacción.

En una secuencia de interacción consensuada hay un número significativo de intervenciones en las que un solo orador hace las aportaciones relevantes, contribuyendo con muchas ideas a la discusión, siendo las declaraciones intermedias de otros oradores no sustantivas, que en muchos casos consisten en manifestación de acuerdo y que en todo caso no tienen ni la relevancia para que su enunciado se refleje en un Mapa del discurso con una de las tres categorías tipo de esta investigación. La siguiente secuencia (figura 3.4) es un ejemplo de una interacción consensuada tomada de Hogan et al (2000):

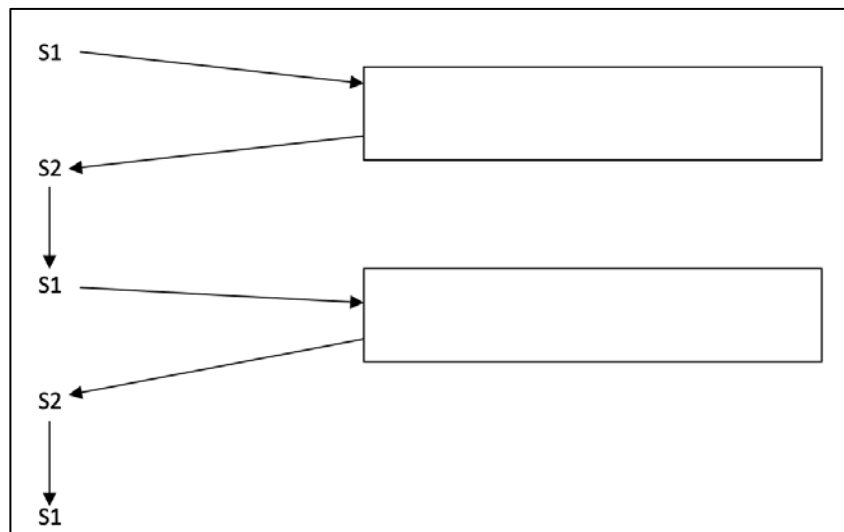


Figura 3.4 Representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría Consensual (tomado de Hogan et al., 2000).

2) Receptivas. Dentro de las secuencias de interacción receptiva, contribuyen principalmente dos participantes tanto formulando preguntas y/o respuestas que resulta ser declaraciones sustantivas para la discusión de la secuencia de interacción evento de interés con contenido argumental (Figura 3.5).

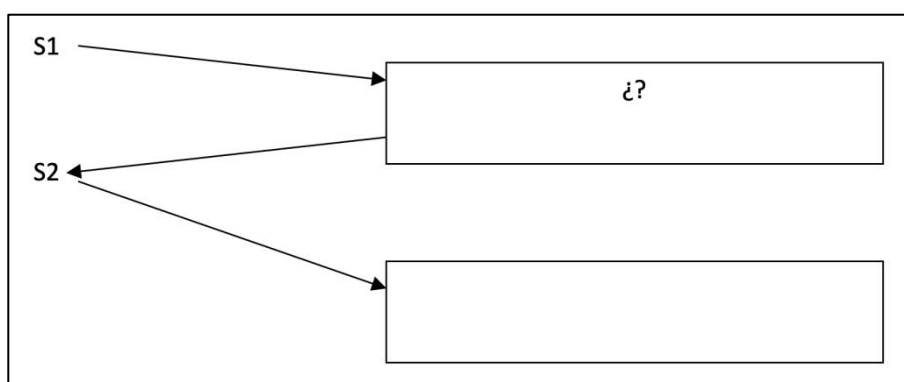


Figura 3.5 Representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría Receptiva (tomado de Hogan et al., 2000).

debate, como en la respuesta secuencias. Sin embargo, los participantes en secuencias elaboradas hacen múltiples contribuciones que se basaron en o aclararon la declaración anterior de otra persona (figura 3. 6). Consiguen elaboraciones coconstructivas realizando adiciones (vinculando una nueva idea con la de otra persona idea o idea parcial de un interlocutor anterior), correcciones (corregir la afirmación de alguien aportando una declaración lógica, coherente e indiscutible para el grupo), o intercambios dialécticos (en desacuerdo con la declaración anterior y ofreciendo un contraargumento). Siguen por tanto una secuencia de interacción elaborada. Aunque los roles del interrogador y del que responde difieran, ambos participantes contribuyen al fondo de la discusión. Esto suele suponer una mayor longitud de los patrones, y es fácil que generen varios acuerdos o comentarios neutrales que incluso pueden no resultar significativos para que queden integrados en la secuencia. Suelen darse también redundancias en las aportaciones, sobre todo cuando el docente hace preguntas generales al grupo y dos o tres estudiantes responden en esencia lo mismo y de forma prácticamente simultánea. La siguiente secuencia es un ejemplo de patrón de interacción receptiva (Hogan et al., 2000):

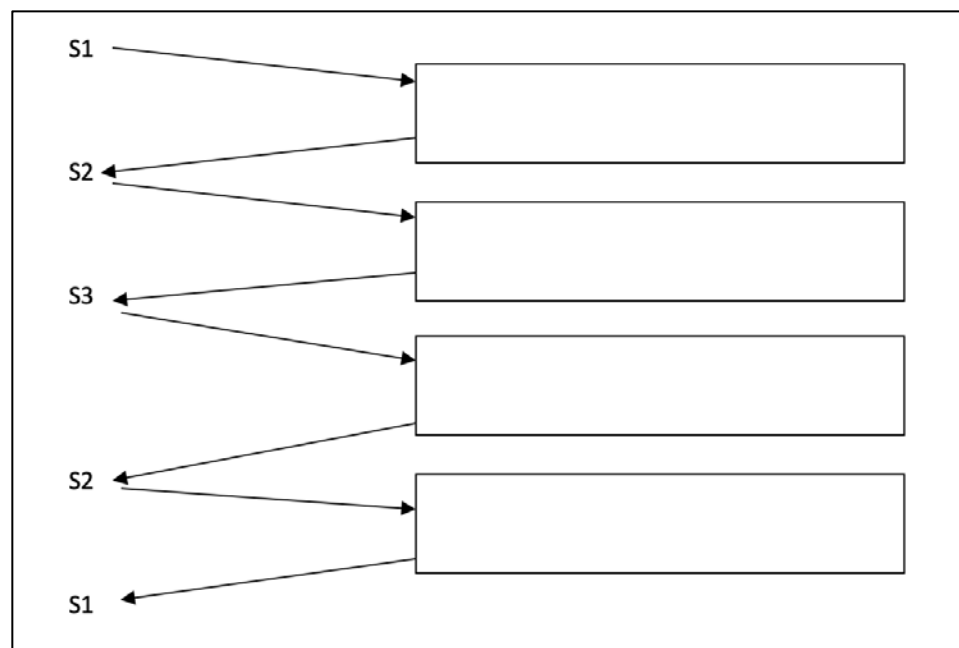


Figura 3.6 Representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría colaborativa (tomado de Hogan et al., 2000).

3.4 ETNOMETODOLOGÍA E INTERACCIONES

3.4.1 La importancia del análisis etnográfico en el estudio

La investigación cualitativa supone en cierta manera, como se ha visto, la consideración de la investigación como un proceso que implica la incorporación del investigador a la observación directa de las interacciones entre los participantes para describir y analizar las personas y su comportamiento observable. Un enfoque metodológico de esta naturaleza justifica la importancia de explorar el lenguaje, desde el punto de vista de sus significados culturales, en este caso concreto de la cultura científica implicada en las ciencias del suelo y el cambio climático, y sus relaciones para interpretar la importancia que tiene el cambio climático sobre la fertilidad del suelo con sus implicaciones de riesgo para la seguridad

alimentaria de la humanidad. Pero también justifica la importancia de analizar el lenguaje como formas interactivas de interacción social, en este caso en comunidades de aprendizaje coproductoras de los argumentos que implican los avances en los modelos mentales que se necesitan para la comprensión de estos retos ambientales y sus complejas relaciones (Vasilachis de Gialdino et al, 2006).

Por ese motivo en la investigación se centró en la práctica real en el proceso escolar en el desarrollo de currículos oficiales de Ciencias Naturales en enseñanza secundaria básica (3º ESO) y en enseñanza media superior (1º de Bachillerato) y procedió a la observación in situ de las interacciones rutinarias en dicho desarrollo. En ese sentido este enfoque etnográfico implicó, en cierta manera, impregnar a la metodología cualitativa del estudio del campo de la investigación-acción escolar (Elliott, 1990).

La etnometodología es importante en este tipo de investigaciones educativas cualitativas porque plantea que los miembros de las comunidades de aprendizaje desarrollen en sus actividades grupales de aprendizaje capacidades interpretativas como copartícipes en las interacciones que generan la co-construcción de argumentos en su discurso. Ese tipo de capacidades de interpretación son imprescindibles en aprendizajes tan complejos como los propios de las ciencias del suelo y del cambio climático que se demandan en este estudio. Además, para la etnometodología encaja perfectamente en la metodología cualitativa seleccionada para este estudio porque la construcción de significados que persigue los hace depender del contexto utilizando el lenguaje para obtener la información que se genera en las interacciones de co-construcción del conocimiento.

Por tanto, la etnometodología tiene relevancia en este estudio porque atiende fundamentalmente al discurso natural y a las interacciones como elementos constituyentes de lo que se investiga. Esto implica la necesidad de introducir a observadores directos en la investigación lo que exige una mirada a la interacción cotidiana para descubrir en estos patrones (Álvarez-Gayou, 2003) relevantes para encontrar conocimiento relativo al desarrollo de las estrategias de argumentación vinculadas al avance y maduración de los modelos mentales.

La participación prolongada en el escenario a estudiar de observadores directos supone la necesidad de convivir con el grupo a estudiar durante periodos de tiempo continuados para llegar a comprender las interacciones que se producen entre sus miembros. Sólo así podrá interpretar y expresar las dialécticas relaciones que se producen entre las interacciones sociales y los significados que se construyen con el contacto directo y una toma de datos sobre el terreno del observador. Este debe tener una presencia con una cierta prolongación en el tiempo en el campo y la vinculación con las personas que son objeto de estudio. De esta forma podrá reunir, en su ambiente natural, datos sobre el comportamiento de las personas y los acontecimientos, y situarlos en el contexto en el que adquieren significación, lo que facilita su comprensión. Esa participación prolongada también permite crear relaciones cercanas que favorecen la recogida de unos datos fiables que de otro modo serían muy difíciles de lograr y de comprender. Por tanto, la participación en este tipo de investigaciones lo coloca como un participante "nativo marginal" (Álvarez-Álvarez, 2008) porque no puede ser uno más en el grupo que estudia, pero tiene que intentar integrarse lo máximo posible, tratando al mismo tiempo de interferir lo menos posible en el modo de vida de los sujetos estudiados, asumiendo así una cierta distancia de aquello que observa.

3.4.2 Los observadores “nativos marginales” de este estudio

En los tres grupos de clase intervinieron observadores nativos marginales con vinculación con la enseñanza secundaria y universitaria. En sus criterios de actuación se tuvieron presentes los principales criterios establecidos por Taylor y Bogdan (2010) para la observación participante en el campo, en especial en lo relativo a conseguir una interacción social no ofensiva. También se siguieron los criterios de estos autores sobre el tipo de notas que se debían conseguir.

3.4.2.1 La entrada en el campo de los observadores en los seis casos

En los dos primeros casos intervino como observador un funcionario docente de secundaria no perteneciente al centro escolar de secundaria y que llevaba años colaborando con la Universidad de Santiago de Compostela en la formación del profesorado de secundaria. En los otros cuatro casos intervinieron dos observadores externos a la docencia de la materia, actuando como observador principal un funcionario del cuerpo de profesores de enseñanza secundaria y profesor asociado en la Universidad de Santiago de Compostela que no impartía clase en ese centro de enseñanza secundaria. Pero también actuó un segundo observador a propuesta del propio docente. Este otro docente impartía clase a parte de los estudiantes, pero de la materia troncal de opción Biología y Geología.

Todos los observadores participantes compartieron y se comprometieron con la estrategia para conseguir posicionarse en el estudio como una parte no intrusiva de la escena. Por eso en el caso de los docentes observadores externos al centro educativo se planificó su incorporación como observadores para que empezaran a actuar como tales solo cuando los estudiantes tuviesen olvidado su condición de investigadores observadores. Se buscó una aproximación previa orientada a que el observador y los estudiantes se sintieran cómodos.

Para conseguir una aproximación eficaz se planificó un periodo inicial previo al comienzo de la investigación en el que el observador impartió a los estudiantes una conferencia coloquio sobre las temáticas ambientales a tratar y se desarrolló talleres sobre el mismo contenido. Con la planificación de este periodo inicial se consiguió romper el hielo entre el observador y los estudiantes participantes en el estudio. Tanto docentes como investigadores observadores llevaban años colaborando en investigaciones y experimentaciones didácticas. Pero aun así antes del inicio del periodo inicial previo al comienzo de la investigación se explicó a todas las personas que formarían parte del escenario las condiciones del desarrollo de la investigación y se tramitaron los correspondientes permisos con la dirección del centro.

3.4.2.2 La planificación de la observación en el campo

Para reforzar la comodidad en la introducción de los observadores en los centros escolares, conseguida con la planificación del periodo inicial, se planificaron momentos en los que a lo largo de la investigación pudiese hacer algo para la colaboración en el proceso de enseñanza y aprendizaje, aprovechando que compartía especialidad docente con el profesor. Para ello se tuvo presente en los dos primeros casos lo útil que resulta en la enseñanza experimental de las ciencias que en las clases de laboratorio participen dos docentes. Por eso

en las experiencias de laboratorio vinculadas a los dos primeros casos relativos a la composición y fertilidad de los suelos se planificó la colaboración del observador como segundo docente. En esta planificación de detalle de intervención docente del observador se pensó en que pudiese seguir actuando con su rol de observador, pero desde la discreción para que este rol no fuera perceptible para los participantes. Por eso en esa planificación se hicieron previsiones para que las posiciones privilegiadas de observación, en ese escenario de prácticas de laboratorio, aportaran datos de detalle muy valiosos para la dimensión de etnometodología que se trata en este apartado.

En los casos 3 y 4 implicados en la investigación relativos a la propuesta didáctica vinculada a la exposición del cambio climático, cuya argumentación fue dirigida por el docente, además del observador externo, como ya se comentó, participó como observador interno al centro el docente que impartía a la mayoría de los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica la materia troncal de opción de Biología y Geología. Por eso se pactó con él su introducción mínima pero valiosa como refuerzo a la consecución de la máxima explicitación posible en el desarrollo de la investigación. La palabra de enganche sería “interesante” ante una intervención de un estudiante que necesitara y/o representara oportunidades de profundizar en el análisis. Una vez usada esta palabra enganche por el investigador principal daría paso a oportunidades al observador interno para intervenir si veía oportunidades, toda vez que el investigador principal veía necesario explicitar y/o completar más esa argumentación por su valor en el proceso de modelización. Si el observador externo veía algo interesante a aclarar, con su posición delante y la izquierda del observador interno, lo marcaría desplazando el bolígrafo sujetado por un extremo hacia su lado derecho. Ante ese gesto el profesor le diría *“podrías explicarnos de nuevo lo que has dicho sobre...”*. Eso daba paso a que el observador interno tuviese la oportunidad de decir al estudiante *“a ver si eres capaz de decirlo de otra forma...”* y todo lo que a continuación vieran él y su colega docente para conseguir el avance de argumentación.

Con esta táctica en la intervención de un segundo observador interno en los casos 3 y 4 se buscó el aprovechamiento a favor del desarrollo de estrategias de argumentación y de modelización dado el mayor conocimiento del contexto del observador interno, al ser profesor ese mismo curso de otra materia de muchos de esos estudiantes. Además, había sido profesor de la gran mayoría de los estudiantes a lo largo de la secundaria obligatoria. En la planificación de esta intervención de ese otro docente del centro que actuó como observador interno con este papel bivalente se preparó un registro de preguntas a hacer. En la planificación esas cuestiones se vincularon a los objetivos didácticos y contenidos en los que estaba previsto encontrarse en la argumentación ideas alternativas y problemas de aprendizaje que son frecuentes en el aprendizaje de estos temas tan complejos. También se planificaron preguntas para la modelización sobre modelos que se muevan bidireccionalmente entre lo particular y lo global, como es el caso de las ideas y modelos alternativos que llevan a introducir el agujero de la capa de ozono como causa del cambio climático.

En la planificación de la estrategia de observación en el campo también se confeccionó una guía de observación en la que figuraba aquello que podía ser importante que se observara en cada caso y los momentos y lugares más oportunos para realizar esas observaciones. Por eso se planificaron también los detalles de donde se ubicarían los observadores en la escena, de tal forma su presencia fuese lo menos perceptible y lo más provechosa para la investigación. En ese sentido se pensó en ganar, desde la necesaria discreción, el mayor ángulo y detalle de visión y una clara audición. En esa línea se priorizaron las planificaciones

correspondientes a la participación en las prácticas de laboratorio por la oportunidad para que pudiesen surgir observaciones de datos y detalles muy valiosos desde este punto de vista de la etnometodología.

3.4.2.3 Las notas de campo

Los observadores que participaron en este estudio registraron sus datos en un cuaderno de notas de campo para usarlas de forma complementaria y aclaratoria de los datos verbales que se obtuvieron de las grabaciones de las clases. Tomaron estos datos cuando se encontraban en la posición y situación discreta en el contexto. Cuando tuvieron que abandonar esa posición para hacerse visibles en el escenario, como en las prácticas de laboratorio, se apoyaron en su memoria, para realizar su registro en otro momento, anotando lo recordado cuanto antes al salir del escenario de la investigación

Estas notas de campo son especialmente valiosas para el uso en contextos de investigación en los que se analizan la co-contrucción de discursos en comunidades de aprendizaje para lograr así avances en capacidades de argumentación y modelización, a partir de los modelos iniciales que tenían cuando iniciaron las construcciones colectivas de argumentos para dar explicación a cuestiones y/o solución a problemas. En este tipo de escenarios el vocabulario expresado y el lenguaje no verbal suele adquirir significados y connotaciones en relación al avance de los aprendizajes perseguidos que dependen del contexto, motivo por lo que esas expresiones vinculadas a los significados que el investigador entiende que adquieren en ese contexto pueden resultar valiosos para la investigación. Ese es el motivo por el que interesa tener presentes en la investigación las notas de estos observadores para examinarlos en función de los supuestos y propósitos de aprendizaje de los usuarios. Por eso se busca estas notas de observadores con la convicción de que el sentido y el significado del lenguaje verbal y no verbal de los participantes sólo se puede conocer con la precisión que requiere la investigación en el escenario en el que lo usan y después de un extenso e intenso análisis (Taylor y Bogan, 2010).

La participación de los observadores en este estudio va asociado al registro de notas de campo, siempre que las puedan obtener con la comodidad que da la discreción en las anotaciones dentro del escenario. De no existir esa comodidad, se generan resúmenes-informes de lo recordado tan pronto que se salga del escenario o cuando todavía dentro de ese contexto pueda volver a recuperar discreción para tomar notas y no surja otro tipo de anotaciones. Estas notas de campo serán tanto más valiosas cuanto más completas, precisas y detalladas se tomen. Por eso a los observadores voluntarios se les pidió el compromiso con la toma de notas de campo en todo momento, porque lo que ocurre en el campo constituye siempre una fuente de información para esta investigación y sólo se conocerán esos hechos si quedan debidamente registrados. Se les hizo saber que no sólo se consideraban muy valiosas las conversaciones, sino que también interesaba tener notas de campo relativas a las personas, a sus roles dentro de los grupos de trabajo y de la clase, así como comportamientos y características personales, porque todo ello puede ayudar a interpretar mejor las interacciones que pueden ser valiosas para entender los argumentos, su construcción y la coherencia e incoherencia de los modelos mentales que encierran.

Para facilitar la cantidad y calidad de los registros se le facilitó una guía de observación con una serie de consejos basados en las técnicas que identificaron Taylor y Bogdan (2010) como útiles para registrar y recordar detalles en diferentes escenarios:

- Observar y escuchar con un esfuerzo de concentración orientado a buscar datos sobre los objetivos y preguntas de investigación del estudio.
- Enfocar la atención en un único grupo de trabajo en la realización de prácticas de laboratorio para evitar el ruido derivado del ajetreo que se produce cuando muchas personas están haciendo muchas cosas al mismo tiempo en ese escenario. Para conseguir situarse con el foco en un grupo se recomendó al observador estar atento a un grupo que pida su ayuda y en caso de no surgir esa petición de ayuda, pegarse al grupo que más le interesa observar.
- Cuando no se pueda registrar todo textualmente se recomienda realizar un ejercicio instantáneo de síntesis para redactar o memorizarla palabras o frases breves (a modo de titulares o lemas) claves. Para afrontar el registro en los momentos de dificultades para tomar notas textuales, se les propuso anotar como se inicia la conversación, como puede ser una pregunta del docente, y centrar la atención la finalización por el potencial que tienen los cierres de secuencias de argumentación para resumir significados y/o conclusiones. Todo aquello que no se pueda anotar in situ en el momento que se produce se debe hacer tan pronto se sale del escenario o las circunstancias de comodidad permitan anotarlo con tranquilidad y comodidad dentro del escenario. Para facilitar la agilidad de la toma de notas in situ, en momentos de dificultad para anotar, se recomienda usar el punto y aparte.
- En todas las sesiones antes de empezar, realizará un esquema del escenario o de repetirse tener el esquema general de tendencia repetitiva, para anotar informaciones relevantes en el escenario como posiciones de grupos de trabajo. Se recomienda poner códigos numéricos o alfanuméricos en las posiciones del esquema y en las notas relativas a lo que ocurrió en esa posición. En esa copia del escenario figurará el día y hora y llevará adjuntas en continuidad cronológica todas las notas tomadas. Se procurará agrupar las notas por un título, a poder ser cuando se toman y en todo caso siempre antes de la redacción del resumen-informe de la sesión.
- Se usarán comillas para reflejar palabras o expresiones propias de los estudiantes con una cierta distancia epistemológica propia del proceso de argumentación y modelización que se persigue, pero que parecen encerrar significados que indiquen al menos cierto grado de comprensión del modelo mental que aplican y de su evolución.

3.4.3 El análisis de las interacciones en la investigación

3.4.3.1 La importancia del análisis de las interacciones en esta investigación

En los mapas del discurso (figura 3.3) se integraron las informaciones obtenidas de la dimensión de etnometodología de la investigación para la que fue importante disponer información sobre las interacciones. La importancia de las interacciones en el estudio deriva de su marco teórico centrado en el constructivismo social, lo que implica asumir que los estudiantes son sujetos activos en la co-construcción de sus ideas en comunidades de

aprendizaje que conducen a la evolución de sus modelos mentales. En la colaboración que demanda esta investigación de los participantes de las comunidades de aprendizaje en la elaboración y reelaboración de ideas y modelos se necesita necesariamente del uso del lenguaje y en ese sentido cobra fuerza en la metodología de esta investigación la concepción de Lemke (1997) de que hacer ciencias implica hablar de ciencias.

Por eso esta metodología está enfocada a investigar el aprender ciencias haciendo, experimentando y hablando de lo que se hace y aprende. Este enfoque lleva asociado la importancia que tienen las interacciones para que los estudiantes puedan aprender ciencias haciendo y hablando de ciencias. Hacerlo supone necesariamente manejar en las interacciones las formulaciones verbales que puedan construir en esa interacción verbal colaborativa. Estas expresiones verbales pueden lograr conseguir aprendizajes si la interacción grupal logra articular estrategias de argumentación eficaces. La consecución de esos aprendizajes que busca la comunidad de aprendizaje se ve facilitada si las interacciones logran orientar el discurso hacia el encuentro de argumentos más o menos explícitos o implícitos que hacen que esas expresiones orales a tomar un significado. Para ello suele ser necesaria una negociación que sólo se va a poder producir a través de las interacciones entre los participantes para que queden fijadas las posiciones y conclusiones a través del discurso desarrollado en la conversación. Por tanto, con estas interacciones verbales, el grupo puede generar discursos grupales que evolucionan hacia la construcción de significados compartidos, pudiendo tener que sortear barreras en el camino como las derivadas de las incomprensiones, oposiciones y/o mal entendidos (Candela, 1991).

Por todo lo expuesto, se concluye que para este estudio el análisis de las interacciones es importante porque desde el punto de vista socioconstructivista la interacción discursiva, en el aprendizaje escolar en general y en el de las ciencias en particular, es un proceso colectivo de construcción dinámica. En ella los participantes no sólo crean significados, sino también nuevas formas de interacción para la mediación y negociación. Se entiende así que la construcción de significados compartidos implica una actividad conjunta y de negociación colaborativa en las comunidades de aprendizaje. Eso supone cambios significativos en el rol docente, pasando de ser un agente que informa, a proponer una interacción comunicativa y un contexto de referencia, todo ello con el objetivo de desarrollar situaciones didácticas que promuevan una construcción de significados compartidos entre todos los participantes de la comunidad de aprendizaje (De Longhi et al, 2012). Con este enfoque de indagación las interacciones deben ser estudiadas para conocer su influencia en el desarrollo de las capacidades argumentativas que se necesitan para conseguir estos aprendizajes valorados por su calidad y significatividad desde el punto de vista de la interpretación socioconstructivista del aprendizaje.

3.4.3.2 Métodos de análisis de las interacciones en esta investigación

En este estudio interesa abordar un análisis de las interacciones asociadas al desarrollo de las estrategias de argumentación porque el discurso en el aula refleja tanto las acciones como el lenguaje de una comunidad de personas (Gee, 1998). Para delinear lo que hacen los estudiantes y el profesor y cómo lo hacen, diseñamos una red con la que analizamos las acciones (figura 3.7). Esta es una versión modificada del marco de observación diseñado por Hollon et al. (1980) y Newton et al. (1999) utilizando una red sistémica (Bliss et al. 1983). Según Ogborn (1994) una red sistémica puede verse como una gramática

independiente del contexto que define un lenguaje construido para describir los datos. Los elementos básicos de una red sistémica son las llaves y los corchetes. La llave es una notación utilizada para representar un grupo de opciones exclusivas y el corchete es una notación que se usa para representar un grupo de opciones que ocurren simultáneamente o una co-selección.

Para analizar el discurso, se tomaron como unidad de análisis los giros en los términos establecidos por Hogan (1999), "un giro comenzó cuando una persona tomó la palabra de una conversación y terminó cuando otra persona toma la palabra" (p. 387). La figura 3.7 muestra la red sistémica utilizada.

La red sistémica construida para el análisis consta de dos aspectos básicos sobre el profesor y los estudiantes, es decir, el individuo involucrado en la interacción y la acción que tiene lugar. Investigar este tipo interacciones en la co-construcción de argumentos en la enseñanza de estos aspectos facilitará una introducción rápida en los currículos de las relevantes aportaciones a la ciencia y a la sociedad de las relaciones entre el suelo y el cambio climático contenidas en el IPCC Special Report 2019, por eso se incorporó como metodología específica para el primer caso.



Figura 3.7 Esquema tipo network para categorización de las interacciones en el análisis del discurso (modificada del marco de observación diseñado por Hollon et al. (1980) y Newton et al. (1999) utilizando una red sistémica (Bliss et al. 1983) según Ogborn (1994).

El enfoque particularista etnometodológico del primer caso parte de la consideración de que las capacidades cognitivas individuales no son suficientes para asimilar con eficacia, transferibilidad y aplicabilidad que se consigue cuando se desarrolla la co-construcción de argumentos a través de discusiones e interrelaciones verbales discursos. Esto lleva a considerar que los factores sociales también son importantes en la construcción del conocimiento (Brown y Campione 1990; Driver et al. 1994; Kelly y Crawford 1997; O'Loughlin 1992). Estos puntos de vista son coherentes con el constructivismo social desarrollado en el marco teórico. Por eso en este estudio se está concibiendo el aprendizaje como un proceso de naturaleza social y cultural a través del cual las ideas de los estudiantes se estructuran y reestructuran (Newton et al. 1999).

Esta apuesta metodología por analizar las interacciones desde la perspectiva social constructivista, implica investigar este tipo de interacciones que conducen al aprendizaje en el aula. Debe realizarse en entornos realistas y debe reflejar el mundo real (Brown et al. 1989; Hennessy 1993; Hennessy et al. 2003; Rodrigues y Thompson 2001). Para saber qué tipo de conocimiento construyen los estudiantes en el aula y cómo, debemos saber cómo usan la herramienta principal disponible para esto, el discurso, y en casos de construcción de indagaciones en grupos de trabajo, también se debe conocer cómo interaccionan entre ellos para llegar a ese discurso. Hablar o conversar es el medio a través del cual se llevan a cabo la mayoría de las enseñanzas, en especial en contextos sobre esto donde los estudiantes colaboran para obtener conocimientos.

De modo que el estudio del discurso en el aula implica el estudio del proceso de enseñanza presencial en el aula, y en este caso concreto también procede estudiar las pautas de interacción que siguen los estudiantes para co-construir ese discurso mediante argumentaciones grupales colaborativas. Eso es así porque el término discurso implica tanto el diálogo que los estudiantes y los profesores utilizan para comunicarse entre sí, como otros elementos no verbales, entre los que podemos mencionar los gestos, la prosodia y el silencio.

Introducir este tipo de retos globales, que desafían a la ciencia contemporánea, demanda del ámbito de las Ciencias Experimentales y de sus conexiones con la Educación Ambiental, nuevos enfoques en la forma de entender el aprendizaje en un aula, que afecta al lenguaje utilizado por profesores y estudiantes, y también a las interacciones profesor-alumno y alumno-alumno (Singh 2016).

El discurso puede estar dominado por una función unívoca del lenguaje o una función dialógica. El primero implica la transmisión de información en una dirección, mientras que el segundo favorece la expresión de formas de pensar y reflexionar sobre ideas, e implica la creación de mecanismos para generar y expandir el conocimiento (Keys y Bryan, 2001). Scott et al. (2006) entiende el discurso dialógico como uno que está abierto a diferentes puntos de vista, por lo que puede llevar a diferentes niveles de “interanimación” de ideas dependiendo del nivel de articulación de las ideas en el discurso (Bakhtin, 1981). Scott et al. (2006) consideran que el profesor puede pedir a los estudiantes que expliquen sus ideas (interanimación baja) o que comparen y contrasten el punto de vista del alumno con las ideas de la ciencia escolar (interanimación alta). Desde esta perspectiva, se entiende que el discurso dialógico nos permite hacer públicas, modificar, contrastar, negociar y reconstruir ideas durante la interacción con otros (por ejemplo, Alexander, 2017). De lo contrario, en un discurso autoritario, “la atención se centra en un solo punto de vista, solo se escucha una voz y no se exploran ideas diferentes” (Mortimer y Scott, 2003, p. 34).

En cualquier caso, la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias son actividades discursivas (Lemke 1990; Kuhn 2010). Aprender ciencias implica aprender un nuevo dialecto, y aprender el dialecto de la ciencia ocurre en conversaciones cara a cara con otros (Erickson 2012). Existe una extensa bibliografía en el campo de la didáctica de las ciencias que trata con la argumentación y el discurso en el aula, pero hay poca investigación centrada en el análisis de las interacciones para conocer los patrones de interacción al mismo tiempo que se analiza la co-construcción de argumentos en un grupo pequeño.

Por lo tanto, este caso constituye una contribución al conjunto de la investigación de la tesis conocimiento porque tiene como objetivo describir la co-construcción de argumentos por parte de un grupo de estudiantes durante una tarea preliminar de una unidad de enseñanza relacionada con la ciencia del suelo, tratando de averiguar la contribución realizada por el proceso del discurso a la construcción de argumentos en las clases de ciencias. Con esta metodología específica de investigación se busca obtener resultados válidos para poder dar respuesta a la primera pregunta principal de investigación (PI1) siguiendo la orientación del primer objetivo (O1).

Para encontrar los patrones básicos que faciliten una respuesta rápida a estas preguntas en el análisis del discurso en el caso 1 se incidió con mayor intensidad en el análisis de las interacciones. Por eso en este primer caso en concreto se introdujo el análisis de las interacciones con la categorización de las interacciones de Hogan et al. (2000), modificada para este caso según lo expresada en la figura 3.7. Se analizaron el total de intervenciones en los 50 minutos de duración de la sesión que abarca el caso 1 desde el punto de vista de las interacciones contando el total de las contribuciones.

En este análisis se diferenciaron las intervenciones en las que participa el docente de aquellas que son sólo de estudiantes. En el análisis de las intervenciones del docente se diferenciaron aquellas que se dirigieron a un estudiante individual (IN) de las dirigidas a la totalidad de la clase (GC) así como las dirigidas a los pequeños grupos de trabajo (GP). El siguiente nivel de análisis que se hizo sobre las interacciones del profesor se centró en subcategorizar por el tipo de acciones las grandes categorías de agrupamientos (IN, GP y GC) con los que se realizan las interacciones del docente. Así por cada agrupamiento se computó el número de cada tipo de contribución en cada acción. Las acciones que se computaron quedaron recogidas del tipo de categorías: resolución de dudas (RD), preguntas (Q), dirección de tareas conjuntas (DT). Por lo tanto, los estudiantes realizan la tarea con poca intervención del profesor. Las pocas intervenciones del docente se orientaron principalmente a resolver dudas planteadas por los estudiantes o dar instrucciones sobre la ejecución de la tarea, lo que es coherente con lo planteado en el marco teórico, en concreto en lo relativo a la teoría del "constructivismo socio-cultural", en su apuesta por promover el descubrimiento autónomo, el aprendizaje por descubrimiento guiado, el aprendizaje a través del diálogo y de la negociación de significados, y en menor medida el aprendizaje por transmisión.

Para tener una visión global de las dos dimensiones categorizadas en las interacciones del docente con el estudiante se realizó una representación tridimensional (figura 3.8) en el que en el eje de las X se representan las tareas cuyas frecuencias se computan en el eje de las Y de la izquierda. Se deja el eje Z para poder visualizar las frecuencias de cada una de las tareas en cada una de las tres categorías de agrupamientos (IN, GP, GC). La altura de las barras corresponde al número de acciones de cada tipo desarrolladas en cada interacción. Para analizar desde el eje Z los agrupamientos con los que interacciona el docente, se usa el color

blanco para representar las interacciones con un alumno individual (IN), el color gris representa las interacciones con un grupo de trabajo (GP) y el color negro representa las interacciones con toda la clase (GC).

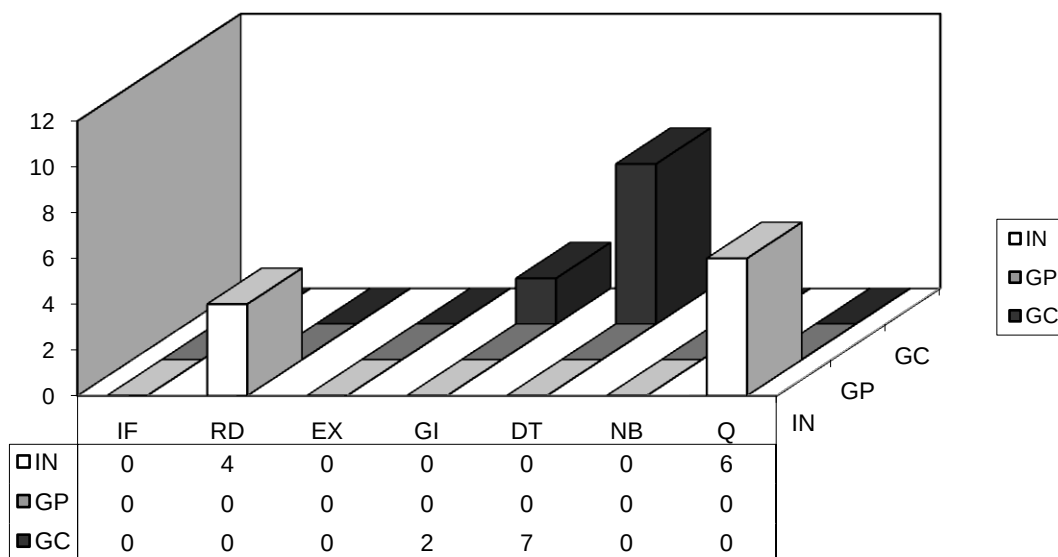


Figura. 3.8 Representación de las frecuencias de interacciones del profesor con los estudiantes según la clasificación de las interacciones del profesor de acuerdo con el destinatario establecida en el esquema tipo network expresado en la Figura 3.7.

Se hizo lo mismo con las interacciones que fueron únicamente entre estudiantes. En este caso se tuvo en cuenta la categorización relativa a la segunda parte del esquema del esquema tipo network de la Figura 3.7 que se refiere a este tipo de interacciones entre los estudiantes. En este caso también se computaron el número total de esas intervenciones establecieron dentro del total de una clase. A continuación, se computaron las frecuencias absolutas y relativas según el tipo de agrupamiento (alumno-alumno, PP; alumno-profesor, PT; alumno-grupo, PG; alumno-otro grupo, PO; alumno-clase, PC; entre grupos, GG). Luego se contaron las intervenciones dentro y fuera de la tarea y por último se contaron las frecuencias absolutas y relativas de cada tipo de acción dentro y fuera de la tarea (Explicar o aclarar ideas o conceptos, EX; Dar instrucciones y dirigir un grupo, IL; Hacer preguntas, Q; Tomar una postura sobre algo, TS; Leer, RE; Ser un portavoz, S; Discutir un tema no relacionado; DU; Estar confundido, BC; Hacer la tarea más difícil, TD; Rechazar la postura de un compañero de clase, RS). Como en este segundo análisis de interacciones los tipos de agrupamientos con los interaccionan son más numerosos que los tres del primer análisis (figura 3.8), se generan más categorías que en las intervenciones dirigidas y estructuradas por el docente del primer análisis. Por eso se utiliza una tonalidad de colores diferentes (figura 3.9) en el análisis de los agrupamientos con los que se generan las interacciones que se analizan desde el eje de las Z. El color blanco representa las interacciones alumno-alumno (PP), el color amarillo representa las interacciones alumno-profesor (PT), el color verde representa las interacciones alumno-grupo (PG), el color azul representa las interacciones alumno-otro grupo (PO), el color gris

representa las interacciones clase alumno (PC), y el color negro representa las interacciones entre grupos (GG).

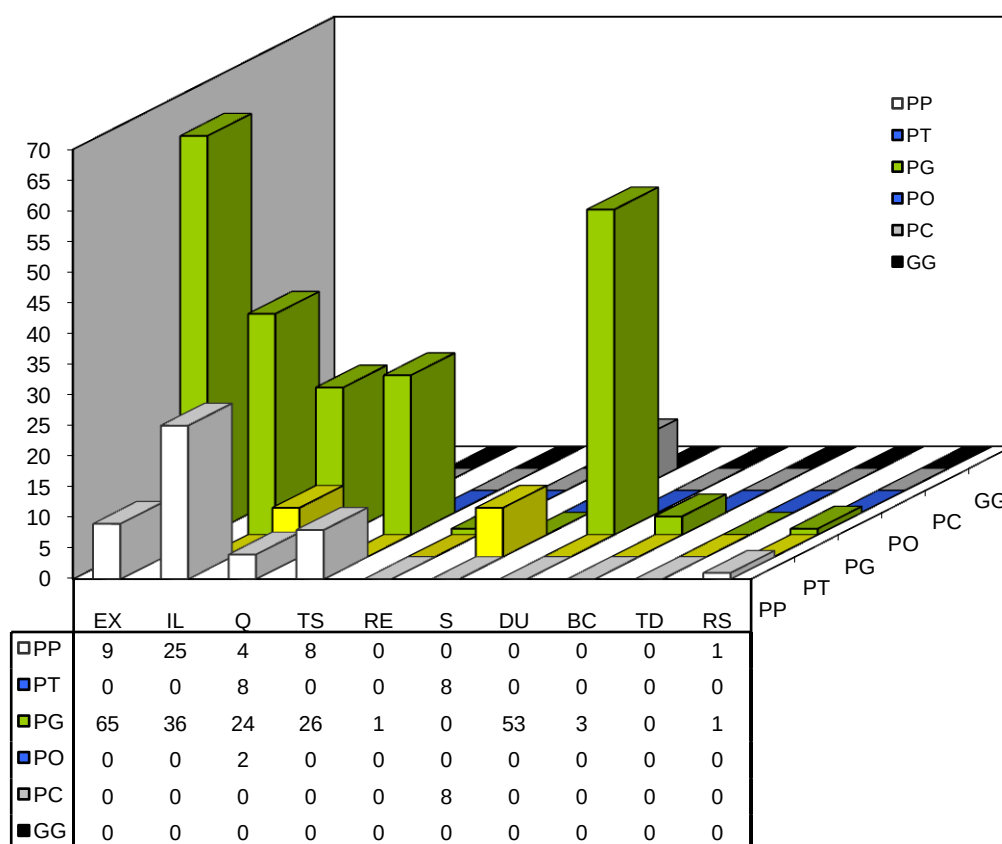


Figura. 3.9 Representación de las frecuencias de interacciones en tareas en los que estudiantes trabajan de forma autónoma según la clasificación de las interacciones del profesor de acuerdo con el destinatario establecida en el esquema tipo network expresado en la Figura 3.7.

3.5 ANÁLISIS DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN

3.5.1 Interés metodológico del proceso de modelización

Interesa estudiar las interacciones en eventos de interés de comunidades de aprendizaje de educación secundaria por sus posibles implicaciones en el desarrollo de procesos de argumentación orientados hacia la co-construcción de los modelos mentales que faciliten la construcción de modelos que integren ideas de los nuevos modelos científicos recogidos en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Para la introducción eficaz en el currículo escolar de secundaria de nuevos modelos escolares que integren ideas de los modelos expresados en este informe interesa buscar claves que expliquen la evolución e integración de los modelos mentales que ya tienen sobre las ciencias del suelo y del cambio climático hacia los nuevos modelos mentales que permitan interpretar las relaciones del cambio climático sobre la fertilidad del suelo y la seguridad alimentaria que se formulan en ese informe del IPCC. Se persigue conseguir esta evolución través de discusiones colaborativas que impliquen compartir, entre los participantes de la comunidad de aprendizaje, datos, justificaciones y el conocimiento científico básico escolar que les permitan interpretar, responder y resolver los desafíos.

Ante estos nuevos retos de modelización que demanda la enseñanza aprendizajes de los nuevos modelos generados por la ciencia de frontera del cambio climático, se pone el acento en su investigación didáctica en la perspectiva de la psicología de la cognición. Esto es lo que ha llevado a incorporar en la metodología de la investigación la evolución de los modelos mentales a lo largo del desarrollo de la co-producción de discurso argumentativo colectivo. Por eso interesa que la metodología de la investigación genere oportunidades al investigador para que pueda comprender la manera según la cual se generan las representaciones mentales. Para ello se toma como referencia la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983) analizada en el marco teórico. Esta selección se hizo por el potencial de esta propuesta teórica para explicar los procesos superiores de la cognición a nivel general, y su potencial para permitir la comprensión y para realizar inferencias sobre esa comprensión que se busca.

La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird resulta especialmente interesante en la metodología de este trabajo por sus sinergias con su metodología de análisis del discurso, porque se construyen sobre un lenguaje mental propio y que necesita del lenguaje tanto para su construcción como para expresar representar y generar las interpretaciones y explicaciones que de ella se derivan. Esto es así porque los modelos son representaciones internas que permiten la comprensión, pero también dotan a los individuos de la capacidad de explicar y de predecir (Rodríguez-Palmero et al, 2001). Un modelo posee un núcleo conceptual potente por su capacidad de asociar a su alrededor una red de conceptos. La necesidad de explicar e interpretar nuevos aspectos o profundizar en otros suele requerir de modificaciones en la red de conceptos e incluso en el núcleo conceptual que determinan la evolución del modelo mental.

La Teoría de los Modelos Mentales permite interpretar la regulación del aprendizaje humano considerando que existe un aprendizaje cuando un modelo mental inicial se ha modificado de forma que con el modelo evolucionado se consiguen mejores explicaciones a las realidades, respuestas a las preguntas y/o soluciones a los problemas. En esa línea interesa conocer en este estudio la evolución de las representaciones mentales que se infieren de la argumentación en el discurso sobre la fertilidad del suelo y cambio climático, para ir descubriendo la evolución de los modelos iniciales hacia los modelos evolucionados, acordes con el nivel de competencia curricular, que demandan los modelos conceptuales recogidos en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019. Desde el punto de vista de esta teoría se entiende el aprendizaje de las ciencias como un proceso dinámico de la actividad mental debido a las exigencias que se generan de que se reinterpreten y reelaboren las representaciones de la realidad recogidas en los modelos mentales iniciales. Por eso la metodología de investigación se desarrolló sobre el diseño y aplicación de propuestas didácticas basadas en una interpretación del proceso de enseñanza y aprendizaje como un proceso dinámico y participativo (Pujol, 2003) que planifica y posibilita situaciones de contacto con la realidad que demandan de los estudiantes su cuestionamiento de sus modelos mentales iniciales, exigiéndoles que amplíen sus variables y las relaciones entre los elementos constituyentes de los modelos mentales iniciales. En ese proceso de reformulación se toma como referencia la transposición didáctica de los modelos de la ciencia adaptados al nivel de competencia curricular, lo que puede permitir extraer patrones eficaces de modelos de ciencia escolar. Por eso interesa que el análisis propio de esta dimensión metodológica del proceso de modelización se acople, en la medida de lo posible, a la dimensión metodológica de análisis del discurso, porque en este reto cobran mucha relevancia los significados de las palabras. Esto es así porque los estudiantes cuando usan procedimientos léxicos para interpretar realidades, responder a preguntas o resolver problemas, el lenguaje está interactuando con

procedimientos generales para construir, manipular y evaluar modelos mentales (Rodríguez-Palmero et al, 2001).

Se apuesta así en esta investigación por incorporar a su metodología el análisis de los modelos mentales, porque interesa que los estudiantes se enfrenten a buscar explicaciones a cuestiones mediante la co-construcción de argumentos a través de discursos verbales colaborativos. En este sentido la Teoría de Modelos Mentales considera que la resolución de problemas y la respuesta a cuestiones que requieren de argumentaciones son oportunidades para la evolución de modelos iniciales hacia modelos más evolucionados. La argumentación verbal colaborativa para la resolución de problemas y respuesta a las preguntas de las propuestas didácticas de esta investigación persiguen estimular procesos de argumentación explicitados mediante el discurso oral del razonamiento que puede permitir descubrir vínculos entre el desarrollo de las capacidades de argumentación y la evolución de los modelos mentales implicados.

Por tanto, el análisis de proceso de modelización de esta investigación se orienta hacia la indagación de la evolución de los modelos mentales de los estudiantes hacia nuevos modelos más acordes con la ciencia escolar y que ayude a la transposición didáctica al currículo de secundaria de los modelos conceptuales del informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Este es un reto relevante en la educación contemporánea para buscar nuevas formas de enseñar y aprender que introduzca en el currículo de ciencias de secundaria la urgencia del reto de la influencia del cambio climático en la fertilidad del suelo para la seguridad alimentaria mundial. Para encontrar las nuevas formas de aprender y enseñar sobre el cambio climático que requieren estos nuevos modelos científicos, interesa investigar sobre estrategias de argumentación desarrolladas a través de discursos verbales co-producidos en comunidades de aprendizaje. Estos argumentos suponen oportunidades de encontrar líneas de evolución que orienten los modelos mentales iniciales hacia modelos más complejos y maduros, a medida que el desarrollo cognitivo del alumnado lo vaya permitiendo (Gutierrez, 2004). Por tanto, el proceso de modelización es importante en este estudio porque tal y como afirma Justi (2006) la construcción de modelos es una actividad con mucho potencial para implicar a los estudiantes en hacer ciencia, pensar sobre ciencias y desarrollar el pensamiento científico.

3.5.2 Los métodos de este estudio para analizar la modelización

La figura 3.10 expresa de forma esquemática del método que se sigue en este estudio para extraer patrones de modelos de ciencia escolar a partir del análisis de la modelización. Se llegó a este análisis siguiendo orientaciones e inspiraciones de los esquemas utilizados por Gutiérrez (2004) para evaluar la introducción de los modelos del currículo y por Justi (2006) para construir modelos de ciencia escolar.

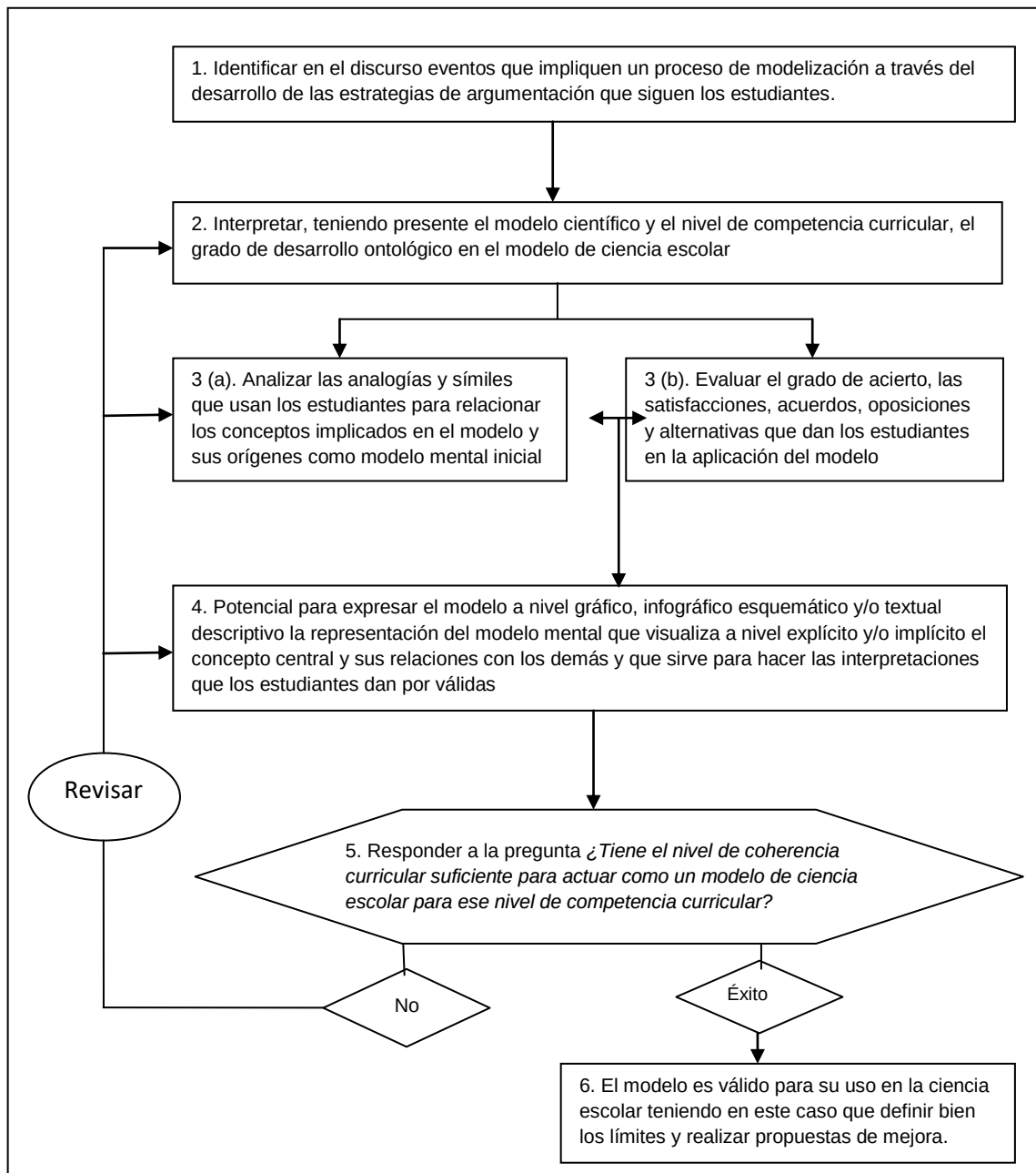


Figura. 3.10 Esquemización del método de modelización (elaboración propia con adaptaciones de Gutiérrez (2004) y Justi (2006)).

Para alcanzar los objetivos de la investigación y responder a las preguntas de investigación interesa analizar los patrones de desarrollo de modelos mentales asimilables a

modelos mentales de ciencia escolar que sean de utilidad para la transposición didáctica para introducir en el currículo las ideas clave de los modelos científicos recogidos en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

Para hacerlo se sigue el método esquematizado en la figura 3.10. El primer paso consiste en encontrar eventos en el discurso en cuya argumentación se identifique una ontología de construcción colectiva de un modelo mental para compartir en la explicación (fase1). En la fase 2 se analiza la coherencia y la seguridad y la inseguridad de los estudiantes en el resultado de modelización que van co-elaborando. Para ello el método se apoya en la fase 3 pensada para analizar la validez de las metáforas, analógicas y/o símiles para integrar los conceptos relacionados con la organización y coherencia interna que facilite la interpretación buscada. Para hacer estas evaluaciones se tiene en cuenta la coherencia con el modelo de la ciencia y la eficacia y seguridad que consigue el grupo con esos avances de modelización. Si no se tienen datos suficientes se intervendrá pidiendo a los estudiantes que expresen cómo imaginan el funcionamiento del modelo mental para hacer la interpretación, buscar la respuesta o resolver el problema. Una vez realizada una evaluación se procede a la fase 4 que consiste en realizar una explicitación para la interpretación de otros docentes de la especialidad del modelo mental que han construido los estudiantes realizando descripciones textuales, esquemas tipo mapa mental o representaciones gráfico-infográficas. Si el modelo es válido queda disponible para la experimentación con otros grupos señalando las limitaciones que lleva asociadas como modelo de ciencia escolar, en especial las relativas al nivel de competencia curricular. Si por el contrario la simulación o representación mental objeto de estudio no es aceptada por la comunidad de aprendizaje como válido o estos no llegan a explicaciones, interpretaciones, respuestas y/o soluciones coherentes con el modelo científico, el investigador reorientará las estrategias de argumentación, proponiendo preguntas para otros enfoques de andamiaje u otras propuestas de analogías que permitan revisar los pasos 2, 3 y 4, pudiendo incluso afectar esta revisión a la propia revisión del diseño.

La introducción de este método de análisis permite también evaluar la calidad del pensamiento de los grupos, porque la fase 4 exige realizar una descripción sintética y resumida de las discusiones sobre el logro colectivo de simulaciones o representaciones mentales que se evalúa en la fase 5, buscando una representación como modelo mental al apoyarnos en representaciones basadas, inspiradas y/o configuradas como mapas conceptuales (Novak, 1990); como un mapa del modelo mental que muestra las ideas clave y sus relaciones derivados de los mapas del discurso. Aunque este sistema se ha demostrado como muy útil, la aplicación rigurosa de la técnica deja en una posición jerárquica superior al núcleo conceptual principal y exige unos trazados fijos definidos que puede restar creatividad. Sin embargo, el avance hacia representaciones con óvalos y líneas de tratado más libre y sinuoso, sin dependencia absoluta de conectores, de la construcción de conocimientos que este autor y sus colaboradores desarrollaron en el proyecto CmapTools (Novak y Cañas, 2005) genera modelos de referencia como mapas de los modelos mentales que los mapas conceptuales. Este avance en las representaciones de CmapTools facilita un análisis más creativo, ágil, flexible y evolutivo que la estructura inicial de los modelos mentales iniciales. Por ese motivo representan mejor la evolución de los modelos generados con la co-producción de argumentos a través del discurso oral de las comunidades de aprendizaje.

Tal y como firman Novak et al. (1988), solo se pueden hacer conjeturas sobre el grado de acierto con el que los mapas conceptuales representan los conceptos que poseemos, o la gama de relaciones entre conceptos que conocemos que se recogen en los modelos mentales. Pero

estos mismos autores señalan que es indudable su capacidad de desarrollar y expresar las nuevas relaciones conceptuales que se vinculan a procesos de modelización como los que se abordan en este estudio. Entendidos así los mapas conceptuales pueden ser una herramienta metodológica creativa para explicitar el papel que desempeña el lenguaje en el intercambio de información en los procesos de modelización objeto de estudio en esta tesis. Este potencial explicativo radica en su capacidad para expresar procesos de modelización que se van desarrollando a medida que el modelo mental va madurando hacia una mayor profundidad. A medida que evoluciona va ganando nuevas relaciones proposicionales que la comunidad de aprendizaje puede ir asimilando a medida que se va configurando y avanzando su estrategia de argumentación. Ese avance puede repercutir en la co-producción y co-reconstrucción grupal de los significados conceptuales que pueden impulsar la evolución de los modelos mentales que pueden ser registrados mediante su expresión gráfica por modificaciones en estos mapas. Las representaciones de los modelos que se persiguen en la fase 4 del método pueden poner de manifiesto las concepciones equivocadas en el modelo en el sentido expresado por Novak et al. (1988). Aunque tal y como afirman estos autores, estas no tienen que considerarse necesariamente “erróneas” pues puede tener a nivel implícito significado y capacidad explicativa (significado funcional), y en ese caso el análisis etnográfico no evidenciará con seguridad que constituye una idea alternativa para la ciencia. Pero, en todo caso, en la fase 4 se requiere de una revisión porque si desde el punto de vista del rigor que demanda el modelo científico o conceptual se evidencian conexiones que forman una proposición claramente falsa, o bien por una conexión que pasa por alto la idea principal que relaciona dos más conceptos. Por eso la revisión es necesaria cuando el modelo, que genera la argumentación de la comunidad de aprendizaje, no pueda ser aceptado como modelo de ciencia escolar tomando como referencia el modelo científico. En las revisiones de modelos que no puedan ser aceptados en la representación de la fase 4, por detectarse concepciones equivocadas, se deben proceder a las revisiones necesarias de la fase 5. Estas inicialmente se orientarán en la dirección de identificar uno o varios conceptos ausentes (Novak et al., 1988), por la oportunidad que puede suponer el hecho de que al integrarse en la estructura conceptual del modelo permita eliminar tal concepción, conduciendo así a la necesaria evolución del modelo. En esa revisión que pueda derivarse de la fase 5 del método puede resultar útil tomar en consideración las representaciones basadas en los mapas mentales como instrumentos para negociar. Por tanto, este tipo de representaciones pueden orientar los andamiajes, preguntas, analogías y demás recursos que posibiliten que esas revisiones dejen rutas eficaces para reorganizar los significados y negociarlos con los estudiantes, una vez que se los han hecho conscientes de las concepciones equivocadas que puedan tener.

Estas reflexiones sobre la utilidad de las aportaciones de los mapas conceptuales para describir los modelos mentales obtenidos por los estudiantes y sus evoluciones a lo largo del discurso mediante su revisión, si no resultaron exitosos, pone en valor el uso en este estudio del concepto Mapa Mental (Buzan, 2004) como representación gráfica de esos procesos de modelización implicados en el estudio. El concepto de Mapa Mental como expresión no lineal del mapeo de la representación mental puede ser muy valiosa para complementar su forma de expresión escrita es una opción distinta y creativa de hacerse anotaciones (Hermann y Bovo, 2005). En este sentido un Mapa Mental puede constituirse como una herramienta metodológica para las indagaciones sobre el proceso de modelización que se abordan en esta investigación. Los Mapas Mentales suponen para este estudio una representación más flexible y creativa para expresar los mapas de los modelos mentales y su proceso de evolución a lo largo de la argumentación porque es un método de análisis que permite hacer

representaciones de la organización muy acordes con la conceptualización de los Modelos Mentales por Johnson – Laird (1983). Esto es así porque en su estructura natural está compuesta por ramas que irradian de una imagen conceptual central que debe ocupar una parte central de la representación y no parte jerárquica superior. Eso da libertad para simular la capacidad cognitiva del cerebro para dirigirse en todas las direcciones. Las conexiones en ramas en todas las direcciones que pueden curvarse e incluso representarse en colores diferentes expresa las asociaciones que el cerebro forma en el modelo mental. Las ramificaciones se producen a diferentes niveles de distancia del concepto principal, pudiendo disminuirse su grosor a medida que la ramificación de relación conceptual se produce más hacia la periferia (Buzan, 2004). Utilizar este tipo de representación permite expresar de forma ágil el modelo mental y su evolución, posibilitando también destacar los cambios que determinan su evolución. Puede ayudar además a aclarar los modelos asimilables por los estudiantes de ese nivel de competencia curricular, a partir de sus modelos mentales iniciales de partida, para asimilar nuevos retos para la ciencia escolar como es el caso de realizar la transposición didáctica necesaria para introducir en el currículo ideas clave de los nuevos modelos científicos incluidos en el Informe del IPCC del 7 de agosto.

Se concluye así que la representación en términos de Mapas Mentales (Buzan, 2004) resulta muy útil para abordar los nuevos modelos mentales que se demanda para la enseñanza y aprendizaje en la enseñanza secundaria y de la transposición didáctica de los nuevos modelos científicos implicados en el Informe IPCC del 7 de agosto de 2019 a la ciencia escolar. Su utilidad toma una especial relevancia en lo referido a la búsqueda de los modelos de ciencia escolar que faciliten la transposición didáctica de los modelos científicos sobre cambio climático que requieren de transferencias bidireccionales entre las interpretaciones locales y globales. Pero para llegar a estos modelos es necesario poner en juego otros modelos derivados de los objetivos clásicos en el currículo de la educación científica escolar en secundaria.

En este punto de partida de representación para la ciencia escolar de los modelos escolares útiles para este estudio, y en la línea del estilo de los modelos clásicos infográficos en ciencia escolar, toman un significado especial los que son asimilables a modelos mentales implicados en la interpretación de fenómenos macroscópicos en términos microscópico de la estructura del suelo que se concretan en modelos de agregación de partículas en la materia y sus vinculaciones con la cinética molecular. Este tipo de modelos de partida de la naturaleza corpuscular de la materia son interesantes para interpretar posibles efectos del cambio climático en la fertilidad del suelo. Este tipo de modelos corpuscular de la no tienen demasiado desarrollo en los libros de ciencias naturales de la secundaria básica, porque son demasiados complejos para el nivel de competencia curricular y para los enfoques didácticos clásicos en los libros de texto, en los que se suelen priorizar los de menor nivel cognitivo (García et al., 2021). Por eso interesa investigar en el desarrollo de las capacidades de argumentación que permitan llegar a modelos adecuados para la superación de barreras para la comprensión de las relaciones entre fenómenos extremos derivados del cambio climático y la fertilidad del suelo. Ese es el motivo porque interesa que la metodología se oriente a conocer las evoluciones desde los modelos iniciales con los que interpreten la aparición de grietas en terrenos que antes estaban inundados, como ocurre en la sequía de embalses, hacia modelos corpusculares propios de la microestructura y sus relaciones con la fertilidad.



Por eso se le otorga al estudio de caso 2 esa particularidad para poder analizar como los argumentos del discurso colaborativo puede dar pautas interesantes para encontrar modelos de

ciencia escolar de esta naturaleza microscópica corpuscular que se demandan para las nuevas formas de aprender y enseñar que demandan los contenidos del informe del IPCC del 7 de agosto de 2019. Interesa conocer aquí en qué medida el hecho de las observaciones de la realidad macroscópica del suelo en sus percepciones sensoriales en el entorno en el que se vive puede generar dificultades de aprendizaje e ideas alternativas. Es fácil que surjan del abordaje desde modelos mentales iniciales que manifiestan una consideración continua y estática de la materia que forma el suelo el suelo, en especial en sus interacciones con la hidrosfera por sus vinculaciones con efectos de sequías e inundaciones que se puedan derivar de impactos del cambio climático.

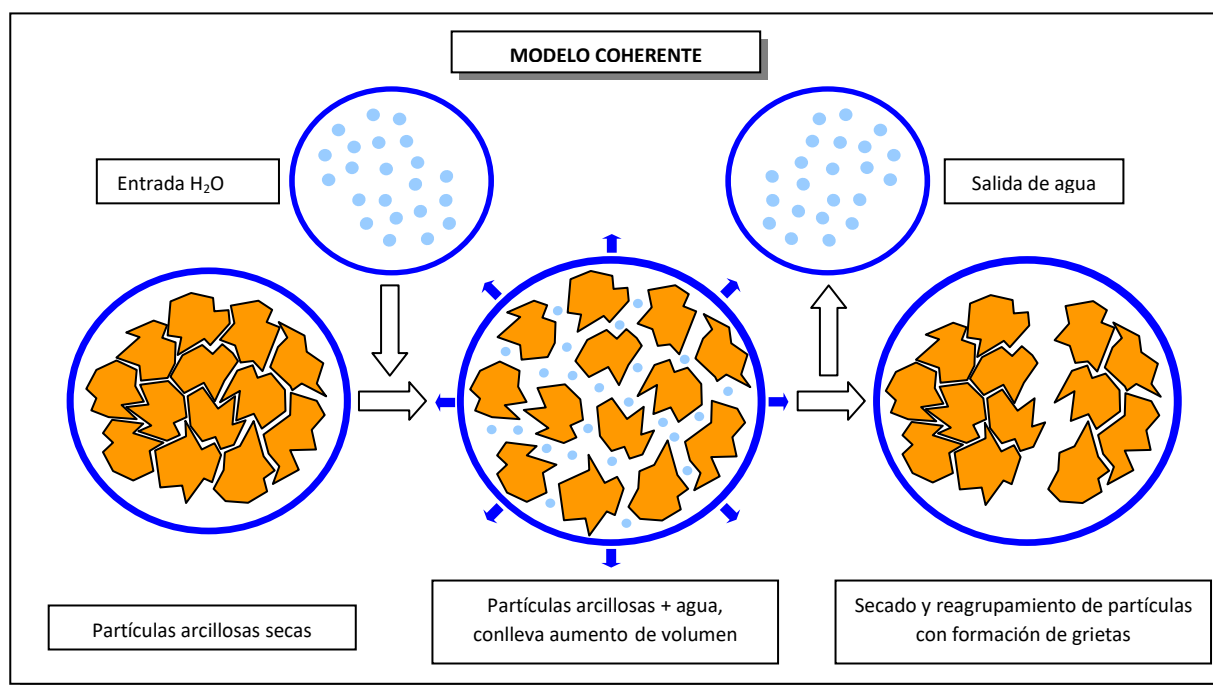


Figura. 3.11 Método de representación infográfica para analizar la coherencia e incoherencia de los modelos de comportamiento de los suelos de cultivo ante sequías e inundaciones (elaboración propia).

De los análisis de los modelos mentales iniciales como puede ser los usados en la interpretación de la aparición de esas grietas y su evolución a modelos más compatibles con la ciencia a nivel conceptual, que en este caso se debe aproximar al modelo de la microestructura del suelo (figura 3.11), dado la naturaleza etnográfica y de construcción de argumentos colaborativos, interesa también evaluar el proceso de modelización desde el punto de vista de la implicación de los estudiantes. Al tratarse de modelizaciones co-construidas y/o co-reconstruidas a través de argumentaciones desarrolladas en discursos colaborativos orales, interesa evaluar el resultado en términos de buscar vínculos entre la iniciativa y el compromiso de los estudiantes con el rigor y madurez de los modelos conseguidos. Para la valoración de ese nivel de compromiso desempeño de los estudiantes en los procesos de modelización implicados en aquellos eventos de discurso de interés por contener la expresión de modelos en la co-construcción de argumentos a través del discurso oral se usó la rúbrica expresada en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Rúbrica para valorar la autonomía, rigor y maduración del proceso de modelización (elaboración propia).

CATEGORÍA DE MODELIZACIÓN	PATRONES DE REFERENCIA PARA LA VALORACIÓN DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN	PUNTOS
1. Iniciativa, autonomía y rigor	1a. Expresan en el argumento un modelo explícito claro por iniciativa del grupo.	4
	1b. Expresan en el argumento un modelo, por iniciativa del grupo, que no es suficientemente claro y/o riguroso pero comprensible y coherente con el modelo conceptual.	3
	1c. Expresan un modelo claro, coherente y válido para la ciencia escolar pero después de recibir ayuda necesaria del docente.	2
	1d. El grupo comparte un modelo, pero sin la suficiente claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar.	1
2. Evolución y madurez	2a. A largo del argumento hay una evolución desde un modelo inicial hasta uno más próximo al conceptual de la ciencia llegando a un enunciado válido para la ciencia escolar de ese nivel de competencia curricular.	4
	2b. La concordancia aceptable los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimiento básico.	3
	2c. La argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado, pero sin la consistencia suficiente para ser adoptado por la ciencia escolar.	2
	2d. El proceso de evolución no es suficiente para superar ideas alternativas presentes en el modelo mental inicial de partida.	1

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE CASOS.

Los resultados de esta tesis derivan del estudio de los seis casos cuyo enfoque y desarrollo metodológico se recoge en el apartado 3.2 de la metodología y cuya integración en el conjunto de la tesis se expresa en la figura 3.1. Se dedica un subapartado de este capítulo a cada caso, analizando y discutiendo esos resultados por su valor para responder a las sub-preguntas particulares de investigación de cada uno de los casos. Los resultados de cada caso se obtienen del análisis del discurso de cada uno de los seis casos mediante la metodología cualitativa descrita en el capítulo anterior. Los participantes son estudiantes de 3º de ESO (casos 1 y 2) y de 1º de Bachillerato (casos 3, 4, 5 y 6).

De cada uno de los seis casos se presentan las categorizaciones de todos los turnos de intervención en el coloquio con los que se da respuesta a las preguntas. En cada caso se presentan los resultados de los patrones discursivos de la argumentación con los tipos de interacción que se producen entre los participantes en la co-construcción de argumentos (Hogan et al. 2000) y de los argumentos mediante el esquema de Toulmin (1958), adaptado en base a diferentes propuestas hechas para el análisis del discurso en clase (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993). Se presentan los resultados de la validez de los argumentos obtenidos mediante la aplicación de una rúbrica de elaboración propia (tabla 3.1). Los resultados de los procesos de modelización que acompañan a la construcción de argumentos se clarifican mediante el diagrama de flujo (figura 3.10) inspirado en los trabajos de Gutierrez (2004) y Justi (2006). Los resultados sobre modelización se completan con las valoraciones realizadas, en cada modelo identificado, aplicando los patrones de referencia de una rúbrica de elaboración propia (tabla 3.2).

Una vez presentados así los resultados relativos a procesos de argumentación y modelización y del grado de desempeño en la validez de argumentos y modelos, en cada caso, se realizó una interpretación con estilo de discusión de los resultados enfocado para facilitar la posterior discusión general que se realiza en el capítulo 5. La interpretación y discusión se desarrolla buscando las respuestas a las sub-preguntas formuladas para investigar las particularidades de cada caso y que se exponen a continuación.

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del Caso 1. Interacciones y argumentación sobre la formación y fertilidad del suelo como recurso no renovable:

- ¿Cómo interaccionan los estudiantes de 15 años en trabajo autónomo en grupos de 4 para explicar la formación, no renovabilidad y fertilidad del suelo?
- ¿Cómo co-argumentan los estudiantes de 15 años sobre la no renovabilidad del suelo y su fertilidad fundamentadas en el proceso de formación?

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del Caso 2.

Argumentación y Modelización sobre la relación de la estructura y composición con la fertilidad del suelo con sus respuestas a sequías e inundaciones derivadas de eventos extremos.

- ¿Cómo se relaciona la composición y estructura del suelo con los efectos del cambio climático (CC) sobre el suelo?
- ¿Qué modelos relacionan la fertilidad del suelo con el cambio climático (CC)?

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del Caso 3.

Argumentación de un grupo clase de la modalidad Científico – Tecnológica conducida por el profesor.

- ¿Cómo conduce el docente argumentación en función de la modalidad científico – tecnológica y de las necesidades de modelización?
- ¿Cómo influye la modalidad científico-tecnológica en los procesos de argumentación y en la evolución de los modelos mentales sobre cambio climático?

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del Caso 4.

Argumentación de un grupo clase de la modalidad de Humanidades y CC. Sociales conducida por el profesor.

- ¿Cómo conduce el docente argumentación en función de la modalidad de humanidades y ciencias sociales y de las necesidades de modelización?
- ¿Cómo influye la modalidad de humanidades y ciencias sociales en los procesos de argumentación y en la evolución de los modelos mentales sobre cambio climático?

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del caso 5.

Argumentación de un grupo de seis estudiantes de la modalidad Científico-Tecnológica sin intervención docente buscando respuestas a las mismas preguntas sobre CC que abordó el docente tres meses antes.

- ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente tres meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica?
- ¿En qué medida la modalidad científica-tecnológica está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

Sub-preguntas particulares para los resultados y discusión del caso 6.

Argumentación de un grupo de 6 estudiantes de la modalidad Humanidades y CC. Sociales sin intervención docente buscando respuestas a las mismas preguntas sobre cambio climático que abordó el docente 3 meses antes.

- ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente tres meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales?
- ¿En qué medida la modalidad de humanidades y ciencias sociales está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 1. INTERACCIONES Y ARGUMENTACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN Y FERTILIDAD DEL SUELO COMO RECURSO NO RENOVABLE

4.1.1 Introducción

En este primer sub-epígrafe del capítulo de resultados se recoge los resultados y su discusión extraídos de la argumentación de equipos de 4 miembros buscando dar respuestas a las cuestiones de la unidad didáctica *“Diez mil años en un centímetro”*.

El estudio de caso se centra en el análisis de la argumentación y de las interacciones relativas al discurso de uno de los equipos de trabajo de un grupo clase formado por 28 estudiantes y 4 alumnas de 3º de ESO. La conversación se centra en la fertilidad del suelo en una actividad de una unidad didáctica diseñada para estimular la argumentación sobre la ciencia del suelo, con el objetivo de investigar la co-construcción de argumentos y las interacciones en un contexto de enseñanza aprendizaje sobre las claves de las sostenibilidad del suelo, en lo relativo a este caso concreto, en la lentitud de la formación del suelo autóctono como clave de su naturaleza no renovable y en la importancia del abonado en su fertilidad agrícola. La investigación se llevó a cabo en una escuela secundaria ubicada en un pueblo costero con una industria de referencia en la costa NW de Galicia del orden de 8.000 habitantes cuyas características socio económico culturales se describen en el apartado de Metodología.

Los participantes eran estudiantes de bajo nivel de rendimiento académico que, en su mayoría, eligieron este centro educativo para continuar allí estudios de formación profesional de automoción y electrónica. Toda la clase se dividió en ocho grupos pequeños de cuatro estudiantes. Para recopilar los datos de este equipo se grabó la discusión de los estudiantes en audio y video. Este caso se centra en el discurso de una sesión de 40 minutos durante la que se argumenta sobre la complejidad y lentitud del proceso de edafogénesis y sobre las implicaciones del abonado en la fertilidad del suelo. El discurso fue transcrito en su totalidad y del resultado de esa transcripción se seleccionaron eventos que contenían argumentaciones de interés para la investigación. El discurso de cada turno de intervención de esos eventos se categorizó desde el punto de vista de la argumentación y de las interacciones, según lo expresado en el apartado de Metodología. Una vez categorizados los turnos, se procedió a cerrar el apartado de resultados con mapas del discurso (Hogan, 2000) y esquemas de argumentos (Toulmin, 1958). Tal y como se expresa en el apartado de Metodología, este procedimiento de obtención de los resultados del estudio se extendió también a los siguientes casos.

Este caso y el segundo se centran en la sostenibilidad del suelo, un aspecto fundamental para entender los riesgos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria que se expresan en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. El discurso de los dos casos surgió de puesta en

práctica de la unidad didáctica “*Diez mil años en un centímetro*” (anexo I). Esta unidad didáctica se diseñó con el objetivo de promover el desarrollo de destrezas de argumentación y se hizo de acuerdo con los principios de diseño de SEPIA (Duschl y Gitomer, 1996). La actividad que dio lugar a este estudio de caso se ubica en la Fase 2: Estudio e investigación para solucionar el problema. Apoyándose en la lectura de textos didácticos explicativos ilustrados, los estudiantes, después de leer el material didáctico que se le entregó en dossier, pidiendo ayuda al docente cuando la necesitan, en este primer estudio de caso, recogen y organizan la información básica sobre la formación y abonado del suelo. Una vez organizada la información clave recogida relacionada con las preguntas que formulan, pasan a evaluarla mediante un discurso verbal dialógico cuya argumentación busca las conclusiones que demandan las respuestas. Ese discurso es el objeto de estudio de este caso.

Los resultados fueron seleccionados por su utilidad para extraer pautas y conclusiones sobre el desarrollo de los patrones de argumentación que facilitarán la introducción en el currículo del nivel de competencia curricular.

Los resultados se seleccionaron de la transcripción de una grabación de la discusión de los estudiantes en audio y video durante una sesión de 40 minutos utilizando la categorización del discurso con las categorías de Toulmin (1958) con las adaptaciones para este estudio, representación esquemática según la propuesta de ese mismo autor y mapas del discurso de Hogan (2000) que se describieron en la metodología.

El discurso del que se han extraído estos resultados procede del desarrollo de Fase 2 de la unidad didáctica diseñada para esta tesis titulada “*Diez mil años en un centímetro*”. Los eventos de discurso están extraídos de las respuestas colectivas de los 4 miembros a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuánto tarda en formarse un suelo? ¿Por qué? (a) Entre 1 y 100 años, (b) entre 100 y 15.000 años, (c) entre 15.000 y 1.000.000 años o más. Justifica la respuesta
2. ¿De dónde vienen los materiales que forman los suelos?
3. ¿De qué factores dependen la formación del suelo?
4. ¿Por qué los suelos fertilizados con estiércol son más fértiles que los que contienen fertilizantes inorgánicos?

Para saber qué tipo de conocimiento construyen los estudiantes en el aula y cómo lo usan, en este estudio se analiza el discurso co-construido en pequeños grupos de trabajo. Por eso interesa también conocer cómo interaccionan entre ellos. Se trata de resultados que permiten interpretar las pautas de interacción que siguen los estudiantes para co-construir ese discurso mediante argumentaciones grupales colaborativas. Para indagar sobre la posible incidencia de las pautas de interacción en la co-construcción del discurso y en su argumentación se buscaron respuestas a las siguientes preguntas de investigación concretas para este caso:

1. ¿Qué tipos de interacciones ocurren en un grupo?
2. ¿Cómo se desarrolla la co-construcción de argumentos a través de las interacciones?

En primer lugar, se presentan los resultados correspondientes al análisis de las interacciones. En la segunda parte de esta sección, se incluyen los resultados correspondientes

al análisis del argumento en las respuestas a las cuestiones relativas a la formación y fertilización de los suelos. Como se mencionó anteriormente, analizamos los datos correspondientes a las transcripciones de las conversaciones de un grupo compuesto por cuatro estudiantes.

4.1.2 Resultados del análisis de patrones de interacción.

A este caso se le asignó la singularidad de analizar las interacciones, entendiendo que los patrones pueden tener relación con el desarrollo de las estrategias de argumentación, y en su caso con su incidencia en la evolución de modelos mentales iniciales. Para la obtención de estos resultados para este caso en concreto se introdujo el análisis de las interacciones con la categorización de las interacciones de Hogan et al. (2000), modificada para este caso según lo expresada en la figura 3.7 del apartado de Metodología.

Durante la sesión de 50 minutos se realizaron un total de 301 contribuciones, de las cuales diecinueve (6.4%) fueron realizadas por el profesor. Como se muestra en la figura 4.1.1, diez de estas interacciones fueron con un estudiante individual (IN) y nueve con toda la clase (GC). No se han reportado interacciones entre el profesor y los grupos de trabajo (GP).

Las interacciones del profesor con estudiantes individuales (IN) incluyen dos tipos de acciones. Cuatro contribuciones (21.1%) se referían a la resolución de dudas (RD) y seis (31.6%) se referían a preguntas (Q). Las interacciones de los maestros con toda la clase (GC) también comprendieron dos acciones diferentes. Dos contribuciones (10.5%) referidas a dar instrucciones (GI) y siete (36.8%) involucraron la dirección de tareas conjuntas (DT). Por lo tanto, los estudiantes realizan la tarea con poca intervención del profesor. Las pocas intervenciones del docente se orientaron principalmente a resolver dudas planteadas por los estudiantes o a dar instrucciones sobre la ejecución de la tarea.

Se establecieron un total de 282 interacciones entre los estudiantes. La distribución de frecuencias, teniendo en cuenta el tipo de interacción, fue la siguiente: 47 (16,7%) alumno-alumno (PP), 16 (5,7%) alumno-profesor (PT), 209 (74,1%) alumno-grupo (PG), 2 (0,7%) grupo de estudiantes / estudiantes (PO) y 8 (2,8%) de clase de estudiantes (PC).

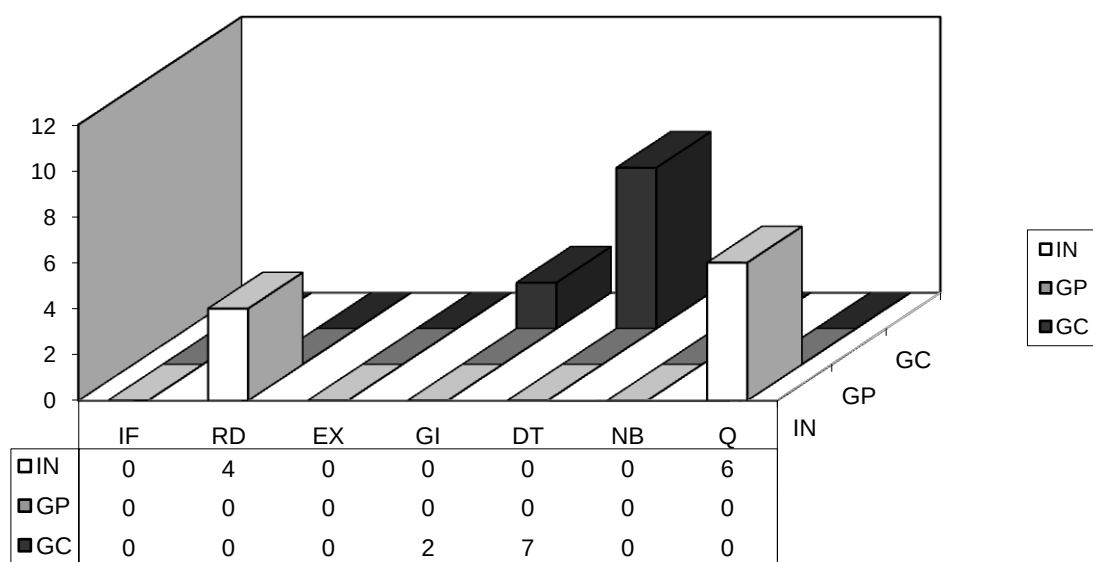


Fig. 4.1.1 Clasificación de las interacciones del profesor de acuerdo con el destinatario (Estudiante individual, IN; Grupo de trabajo, GP; Clase entera, GC) y la acción (Dar o ayudar a buscar información, IF; Resolver dudas, RB; Explicar, EX; Dar instrucciones, GI; Dirección de tareas conjuntas, DT; Tomar notas en la pizarra, NB; Hacer preguntas, Q). El color blanco representa las interacciones con un alumno individual (IN), el color gris representa las interacciones con un grupo de trabajo (GP) y el color negro representa las interacciones con toda la clase (GC). La altura de las barras corresponde al número de acciones de cada tipo desarrolladas en cada interacción. Por ejemplo, de un total de diez interacciones IN, la acción RD se desarrolló en cuatro de ellas.

Como se muestra en la Figura 4.1.2 la mayoría de las interacciones de los estudiantes estaban dirigidas a explicar o aclarar ideas o conceptos al grupo de trabajo (65, 23.0%). El diálogo alumno-alumno fue muy escaso y las interacciones alumno-profesor fueron incluso menos frecuentes, y por lo general se realizaron preguntas.

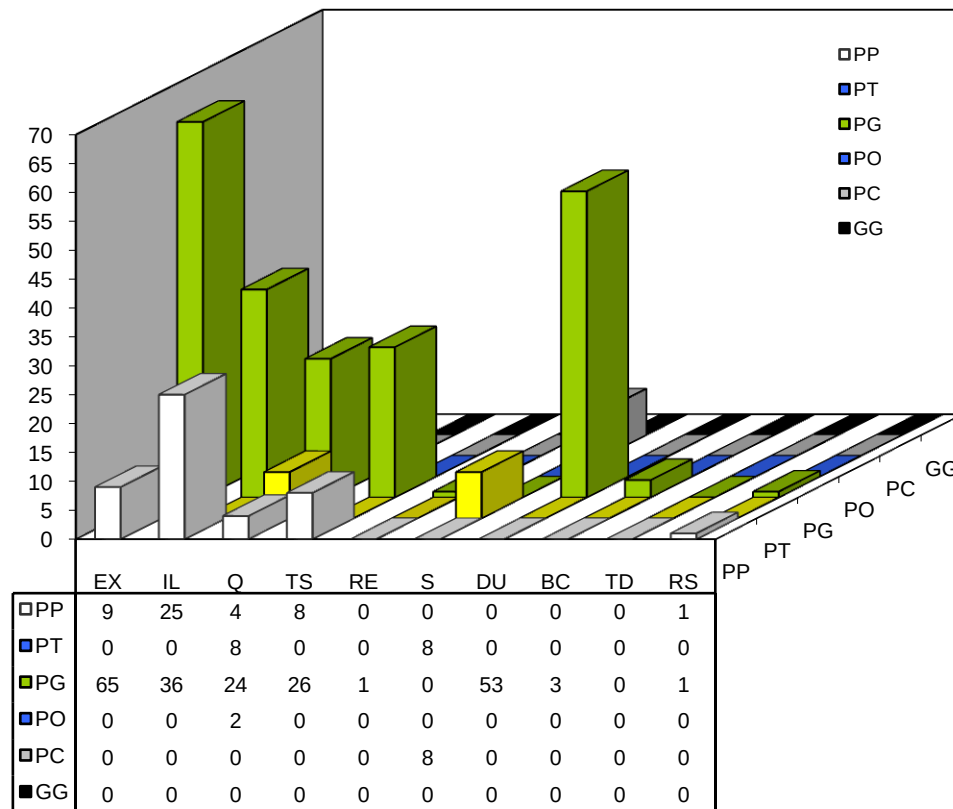


Fig. 4.1.2. Clasificación de las interacciones de los estudiantes según el destinatario (alumno-alumno, PP; alumno-profesor, PT; alumno-grupo, PG; alumno-otro grupo, PO; alumno-clase, PC; entre grupos, GG) y la acción (Explicar o aclarar ideas o conceptos, EX; Dar instrucciones y dirigir un grupo, IL; Hacer preguntas, Q; Tomar una postura sobre algo, TS; Leer, RE; Ser un portavoz, S; Discutir un tema no relacionado; DU; Estar confundido, BC; Hacer la tarea más difícil, TD; Rechazar la postura de un compañero de clase, RS). El color blanco representa las interacciones alumno-alumno (PP), el color amarillo representa las interacciones alumno-profesor (PT), el color verde representa las interacciones alumno-grupo (PG), el color azul representa las interacciones alumno-otro grupo (PO), el color gris representa las interacciones clase alumno (PC), y el color negro representa las interacciones entre grupos (GG). La altura de las barras corresponde al número de acciones de cada tipo desarrolladas en cada interacción. Por ejemplo, de un total de 16 interacciones PT, la acción Q se desarrolló en ocho de ellas.

Esta descripción de las interacciones se ajusta a las características del discurso dialógico (Alexander, 2017). Los resultados de este tipo de trabajo autónomo en pequeños grupos muestran que el profesor adoptó un rol neutral, evitando dar información o evaluando las intervenciones de los estudiantes. La mayoría de las interacciones fueron entre los grupos de estudiantes para expresar sus ideas y dar sentido a las ideas de otros. Además, las interacciones que se han analizado tienen algunas características del compromiso con la disciplina. Engle y Conant (2002) indican que se puede considerar que los estudiantes muestran un mayor compromiso con la disciplina cuando hacen contribuciones importantes al tema en discusión y casi no participan en actividades fuera de la tarea. Eso es coherente con el hecho de que en los cuatro fragmentos seleccionados para configurar este caso por la relevancia de sus argumentos relativos a la formación y fertilización de los suelos, que a su

vez representa un tercio del total de discurso transcrito, contenga el 70% de las intervenciones dentro de la tarea, lo que indica, sin duda, que la argumentación cataliza la tarea, respondiendo así al propósito metodológico del diseño de la unidad y a su enfoque para la investigación planteada.

De las contribuciones de los estudiantes, 224 (79,4%) estaban en la tarea y 58 (20,6%) no se relacionaban directamente con el tema en cuestión, aunque algunas contribuciones que surgieron de la discusión fuera de la tarea estaban relacionadas con cuestiones científicas.

Las contribuciones realizadas en la tarea para cada una de las categorías establecidas fueron las siguientes: 74 (26.2%) explican o aclaran ideas o conceptos (EX), 61 (21.6%) dan instrucciones y el grupo principal (IL), 38 (13.5%) haciendo preguntas (Q), 34 (12.1%) tomando una postura sobre algo (TS), 1 (0.4%) lectura (RE), y 16 (5.7%) siendo un portavoz (S). Se puede ver que la mayoría de las contribuciones involucraron dar explicaciones, dar instrucciones, hacer preguntas y tomar una postura sobre algo. El porcentaje de explicaciones fue mayor que el de las preguntas, porque cada pregunta puede generar varias explicaciones, ya sea complementarias o de oposición. También hubo un número significativamente alto de contribuciones en la categoría de dar instrucciones y dirigir un grupo, que corresponde a las contribuciones realizadas para dirigir la discusión (por ejemplo, cuando un estudiante trató de enfocar la discusión) o contribuciones logísticas (por ejemplo, las contribuciones realizadas para organizar la tarea).

Aunque la tarea está en una primera fase de explicitación de las ideas de los estudiantes los resultados ya sugieren que los roles adoptados por los estudiantes y el profesor fueron diferentes de los de una clase tradicional, y que las tareas tuvieron éxito en alentar a los estudiantes a razonar y discutir. El análisis de los resultados analizados hasta aquí sobre las interacciones en la co-construcción de argumentos, evidencia que los participantes logran apoyarse en interacciones vinculadas a la articulación de ideas orientadas a un proceso de construcción de significados. Buscando responder a la pregunta de investigación relativa a los tipos de interacciones que ocurren en este grupo los resultados sugieren que esta co-construcción de argumentos a través de las interacciones ponen de manifiesto cambios en los roles tradicionales situando al docente como orientador y alentando a los estudiantes a razonar y discutir a favor de la construcción de argumentos.

4.1.3 Resultados del análisis de la argumentación

4.1.3.1 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.1.3.1.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.1.3.1 recoge los resultados obtenidos del análisis y categorización mediante las categorías relativas a las interacciones y las categorías de Toulmin para el análisis de la argumentación. A continuación, se analizan los resultados expresados en el flujo del discurso. En la última parte de análisis de la argumentación se expresan los esquemas de Toulmin de los argumentos de cada uno de los eventos de discurso correspondientes a la discusión en grupo a cada una de las preguntas. Estos resultados se presentan mediante esquemas de Toulmin para poder tener la oportunidad de descubrir cómo emergen las conexiones entre las partes principales de los argumentos (conclusiones, datos y justificación), lo que puede permitir interpretar los modelos mentales activados por los estudiantes.

La primera unidad de discurso que se analizó en este caso fue la correspondiente a la argumentación del grupo A sobre la edad del suelo en la que los estudiantes argumentaron su elección del intervalo de tiempo que seleccionaron como el necesario para la formación del suelo correspondiente a la edad del suelo.

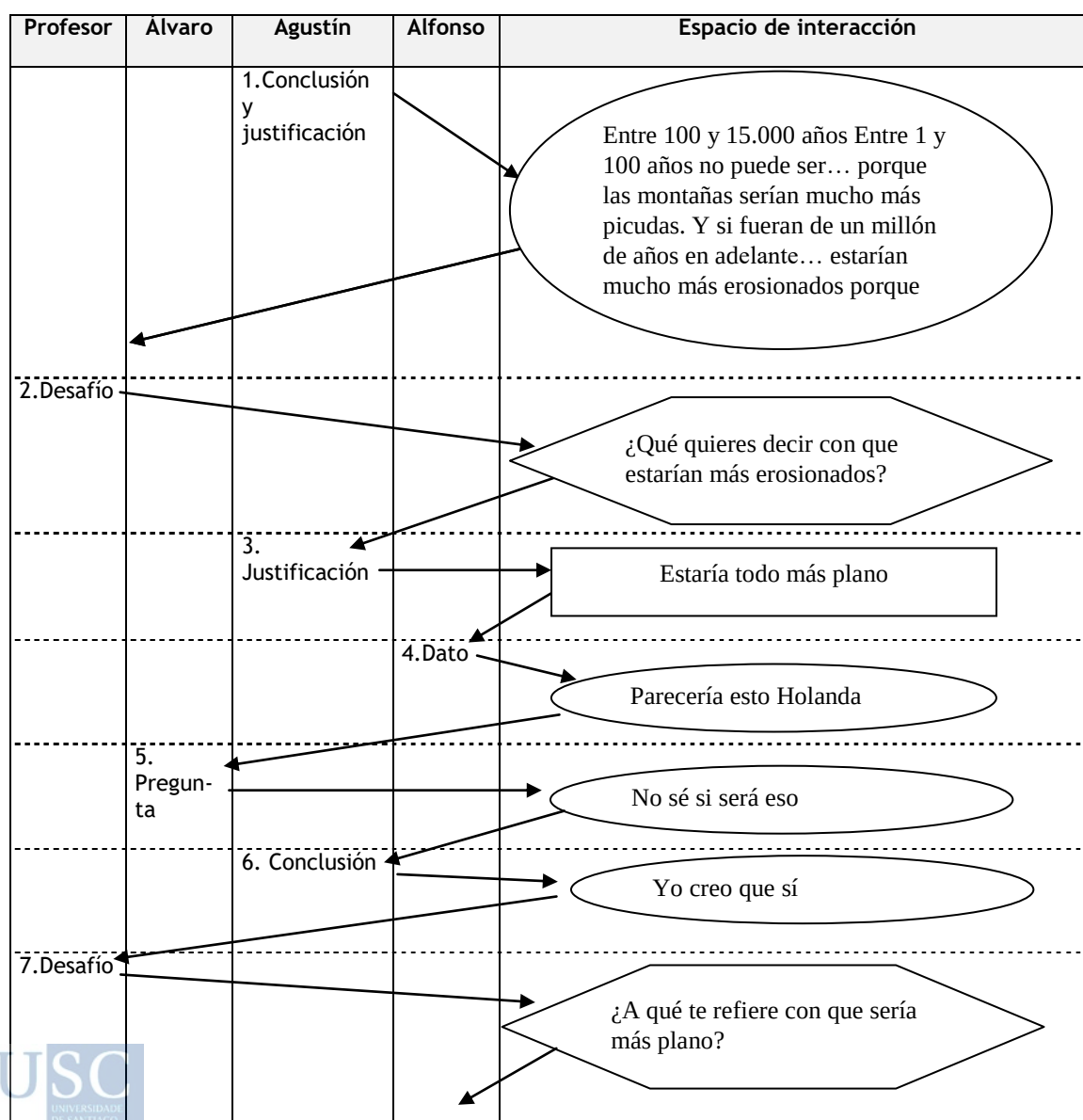
En la transcripción del discurso relativo a la respuesta a la primera cuestión se identificaron los dos primeros eventos que se analizaron en este trabajo. Comprende el discurso transcrito y categorizado en la figura 4.1.3.

EMISOR	ENUNCIADO	CATEGORÍA DEL ARGUMENTO	INTERACCIÓN ENTRE ESTUDIANTES	INTERACCIÓN CON EL PROFESOR
Agustín	<i>Elegimos la b) que está entre 100 y 15.000 años</i>	C	AC-NG	-
Agustín	<i>Entre 1 y 100 años no puede ser.</i>	DH	AC-NG	-
Agustín	<i>...porque las montañas serían mucho más puntiagudas</i>	X		-
Agustín	<i>Y si fueran de un millón de años en adelante...</i>	DH	AC-NG	-
Agustín	<i>...estarían mucho más erosionados porque pasaría más tiempo</i>	X	AC-NG	-
Profesor	<i>¿Qué quieres decir con que estarían más erosionados?</i>	P	-	GC-PR
Agustín	<i>Estaría todo más llano</i>	X	AC-NG	
Alfonso	<i>Parecería esto Holanda</i>	A	AG-EX	-
Álvaro	<i>No sé si será eso</i>	P	AG-PR	-
Agustín	<i>¿Que? Yo creo que sí</i>	DH	AG-PS	-
Profesor	<i>¿A qué te referías tú con que es más llano?</i>	P	-	GC-PR
Agustín	<i>Que habría más suelo y menos roca</i>	DH	AC-NG	-
Profesor	<i>¿Por qué habría más suelo y menos roca?</i>	P	-	GC-PR
Agustín	<i>Porque se encontrarían muchas piedras...</i>	DH	AC-NG	
Profesor	<i>¿Sí?</i>	P	-	GC-DP
Agustín	<i>Non habría tanta... tanta piedra... en el campo y habría más suelo, más tierra, sería más profunda la capa porque hay zonas en las que la capa es muy poco profunda</i>	X	AC-NG	
Profesor	<i>¿Sería más profunda en que lugares?</i>	P	-	GC-PR
Agustín	<i>En las capas bajas, sería... el suelo sería más profundo</i>	X	AC-NG	

4.1.3.1.2 Resultados del flujo de discurso

El **flujo del discurso** que se representa en la figura 4.1.4 en forma de “mapa de discurso” muestra el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implicado en el discurso del equipo de trabajo a lo largo del segundo evento de interés.

Se trata de una secuencia con bastante componente consensuada (Hogan et al, 2000) en el sentido de que es Agustín quien hace las aportaciones conceptuales sustantivas. Se consigue así una argumentación que impulsa Agustín y cierra el mismo alumno justificando la edad elegida. Participan los otros dos estudiantes, pero lo hacen por estar de acuerdo con la declaración o para manifestar dudas (consensuada). El papel del docente consiste básicamente en introducir preguntas de activación conceptual que consiguen hacer avanzar la secuencia en la línea de conseguir justificaciones que permitan avanzar la argumentación. La formulación de la pregunta dando opciones de edades determina en cierta manera esa línea de intervención del docente.



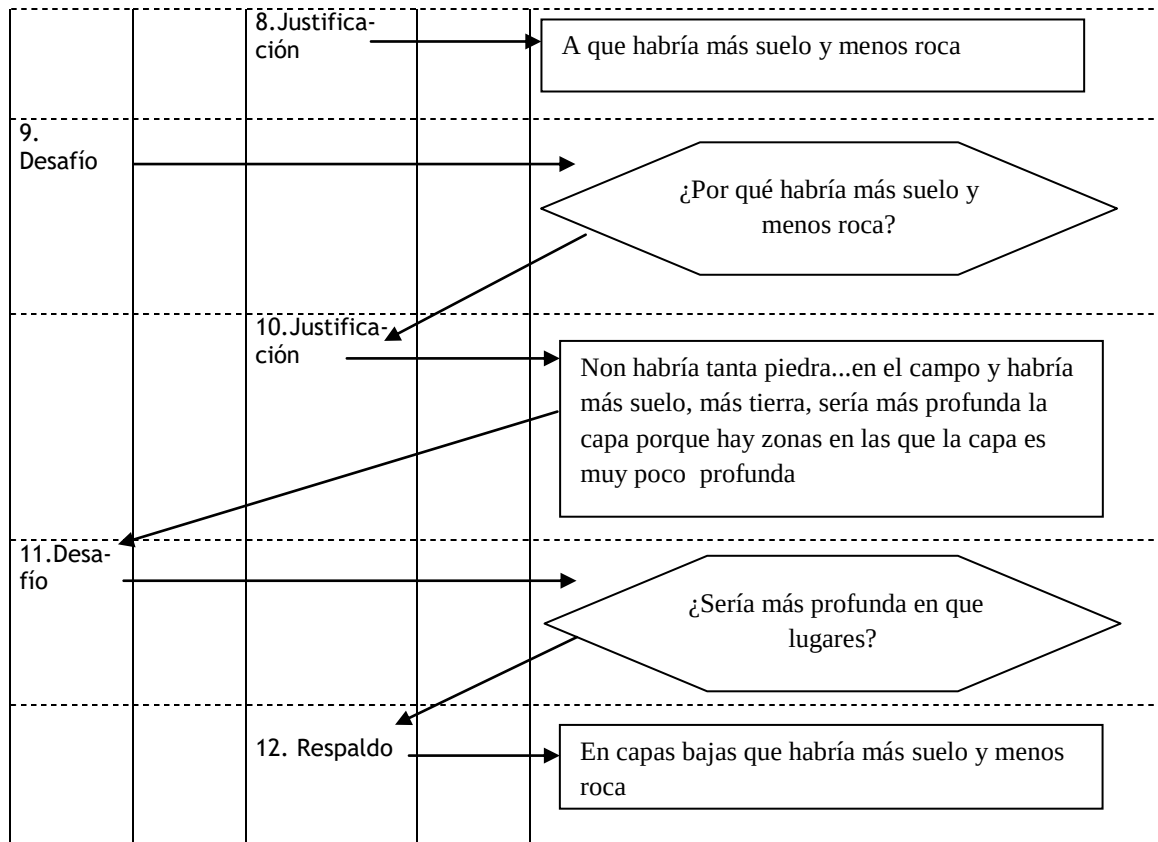


Figura 4.1.4 Mapa del discurso generado durante las respuestas colaborativa de tres estudiantes retados por el profesor a que argumenten sobre la selección de un intervalo de años necesarios para formar el suelo en base a la siguiente pregunta: ¿cuánto tiempo lleva formar un suelo? ¿Por qué? (a) Entre 1 y 100 años, (b) entre 100 y 15.000 años, (c) entre 15.000 y 1,000.000 años, y (d) 1,000,000 años o más.

Se trata de secuencia de la categoría receptiva Agustín es el alumno que se posiciona sobre el margen de tiempo necesario para formar el suelo, y también quien hace las principales aportaciones en la argumentación sobre esa elección. Los otros dos compañeros hacen solo dos aportaciones puntuales no relevantes en el desarrollo de la argumentación que lleva a la conclusión final. El profesor reta Agustín, posiblemente para conseguir que este explicita el modelo que está usando, porque se da por conforme cuando el alumno usa como respaldo el que haya menos suelo y más roca. El docente entiende esta expresión del estudiante como una justificación de que tuvo que pasar tiempo suficiente para que se erosionaran las montañas que fue el dato que tomó como partida para iniciar la argumentación relativa a la opción de margen temporal de formación del suelo que eligió. En ese caso están usando un modelo basado en el paradigma geodinámico donde se entiende que el suelo procede de la alteración de las rocas, aunque en su vertiente exclusivamente mecánica (Yus y Rebollo, 1993). Se evidencia también lo expresado por estos autores de la no consideración de la existencia de procesos químicos (geoquímicos y bioquímicos) propios del suelo. Por tanto, la representación del flujo del discurso muestra en cierta manera la explicitación del modelo mental que está usando como respaldo Agustín. Evidencia también la estrategia de retos concatenados seguidos por el docente para explicitar ese modelo y de su evolución hacia una integración de los procesos edafológicos.

USC Un modelo más próximo a ese paradigma edafológico actual daría pie al uso de datos y justificaciones de un modelo que integre otro tipo de interacciones: con la atmósfera, con roca

y las derivadas de la interacción de la biosfera con la roca en ese proceso de alteración de las montañas al que eluden en sus justificaciones de la decisión de la selección del intervalo de edad. Eso también permitiría introducir relaciones con los seres vivos y la alteración química del sustrato mineral. Por tanto, el único proceso que reconocen en la edafogénesis es puramente mecánico, sin justificarlo, incorporando datos relativos a la intervención de la atmósfera (agentes geológicos) y a lo de los seres vivos. En ese sentido el patrón de diagrama del discurso permite a los docentes pensar en estrategias de intervención cuando se den circunstancias semejantes a estas demandas de conocimiento y que requieran de la aportación de datos, pruebas y evidencias que permitan conseguir una mayor evolución del discurso y una secuencia de flujo de discurso más rica.

En este primer intervalo de discurso analizado también se ponen en evidencia las dificultades de comprensión del tiempo geológico, asociando al suelo con las rocas, y otorgándola así una conceptualización de una realidad que, al igual que las rocas, de las que procede por un simple proceso de alteración mecánica, siempre estuvo allí (Happs, 1981).

La representación del flujo del discurso permite interpretar la evolución del modelo inicial en el que se basa Agustín para proponer la selección del intervalo entre 100 y 15.000 años para la edad del suelo que se sigue en la argumentación desarrollada en ese discurso. En la evolución del modelo a lo largo de la argumentación contenida en este diagrama del discurso no se contempla el suelo como una entidad que tiene un origen y ha seguido un proceso de evolución. El patrón reflejado en el diagrama del flujo resulta útil para estudiar posibles demandas conceptuales o datos a introducir para conseguir la evolución en esta línea de la comprensión de la formación del suelo como un proceso que requiere tiempos geológicos a partir de un origen en una roca madre. Esta línea de argumentación adquiere una especial relevancia en la evolución del modelo mental porque permite justificar el hecho del que el suelo sea un recurso no renovable. Esta línea de evolución del modelo mental es importante para abordar los problemas de uso del suelo, así como los procesos de exceso de abonado y los impactos que le ocasiona el cambio climático, afectando de forma indirecta también la producción agrícola. No se puede afirmar, del análisis de la argumentación, si al seleccionar un margen de edad menor que el de las rocas, están considerando que es más reciente, o realmente tienen un problema de asimilación de la escala del tiempo geológico, importante para asimilar la no renovabilidad de este recurso. En todo caso la selección del margen del tiempo no es una evidencia de la idea alternativa de que el suelo es tan antiguo como las rocas que apuntan autores como Álvarez y García (1996), Pedrinaci (1996) y Libarkin et al. (2005).

4.1.3.1.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles implicaciones en el proceso de modelización

En la figura 4.1.5 se expresan mediante un esquema de Toulmin las conexiones y relaciones internas entre las partes principales del discurso (conclusiones, datos y justificación). Esta argumentación fue generada con las aportaciones de tres de los cuatro estudiantes que componen el grupo (Agustín, Alfonso y Álvaro), contando con retos de demanda de conocimiento que aportado el docente en los momentos oportunos y que han resultado ser claves para el avance de la secuencia de argumentación y la explicitación del modelo mental en el que se basó la selección del intervalo de tiempo necesario para la

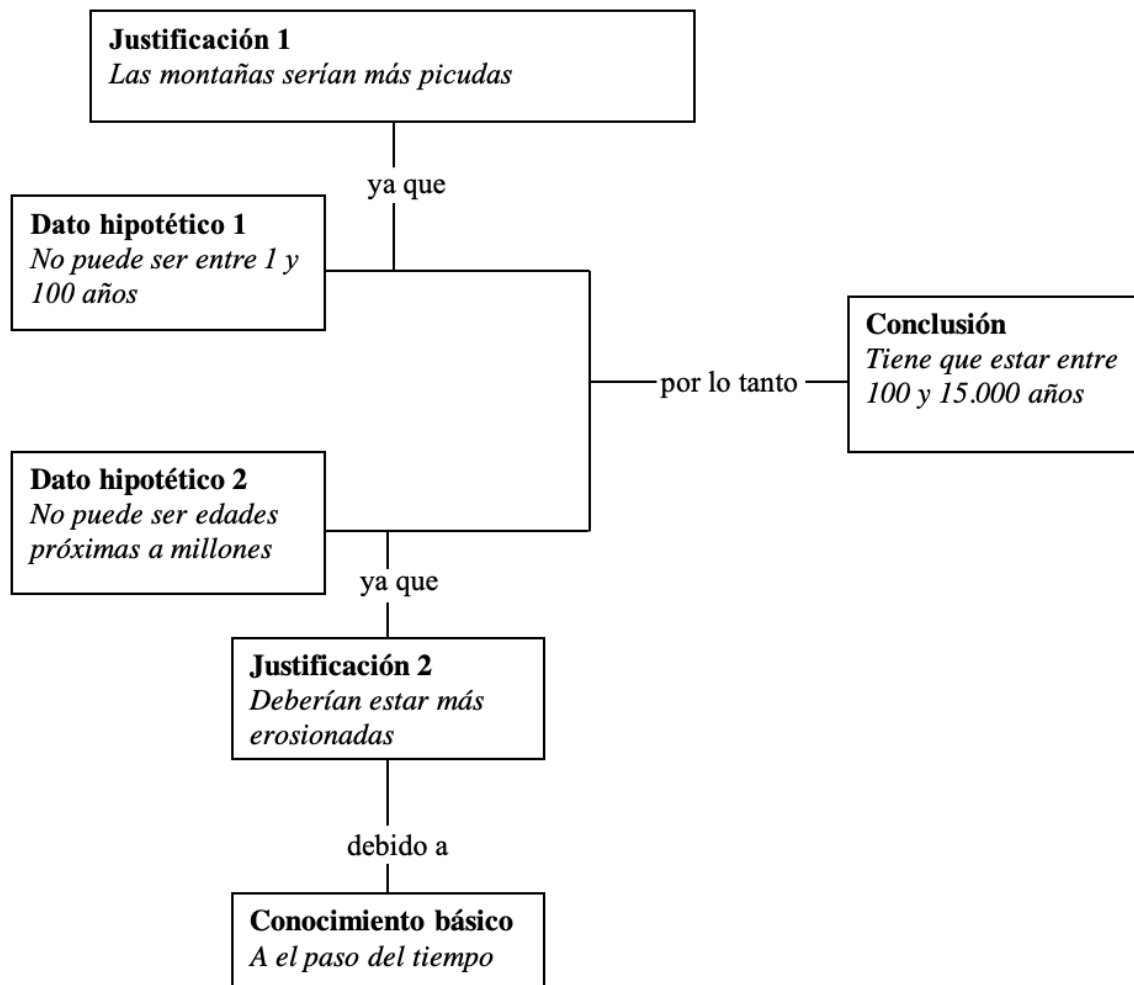


Figura 4.1.5. Argumento construido a partir de la discusión recogida en el extracto del discurso recogido en la figura 4.1.3.

Los participantes sacaron sus conclusiones basándose en la opción que consideraron como la correcta entre las diferentes posibilidades contempladas en la pregunta. La argumentación que subyace en el fragmento transcrito, categorizado en la figura 4.1.3 y cuyo desarrollo se expresó en el diagrama del flujo de la figura 4.1.4, se corresponde con la puesta en común que se programó para explicar la respuesta al primer ítem incluido en este primer caso: *¿Cuánto tarda en formarse un suelo? ¿Por qué? (a) Entre 1 y 100 años, (b) entre 100 y 15.000 años, (c) entre 15.000 y 1.000.000 años o más. Justifica la respuesta*

La conclusión se traduce en la selección de la opción que consideran correcta entre las propuestas como posibles soluciones a la pregunta. A la conclusión llegan por exclusión de los datos hipotéticos en los que se basan las respuestas que no consideran correctas. El primer dato hipotético que ponen en evidencia es el que hace referencia a la edad menor (entre 1 y 100 años) y la justificación que dan es que las montañas serían mucho más picudas. El dato hipotético de más de un millón de años lo rebaten con la justificación de que el paisaje estaría más erosionado. En este caso el conocimiento básico se hace más explícito apareciendo concepto de erosión ligado a intervalos de tiempo grandes, aunque la primera justificación

también se apoyó en el mismo conocimiento básico. Sin embargo, este conocimiento básico no se sitúa con la suficiente amplitud en la escala de tiempo geológico.

La opción de un millón de años o más fue rechazada con la justificación de que las montañas estarían más erosionadas porque habría pasado más tiempo. El respaldo en este argumento (aquí, el conocimiento de los estudiantes o las ideas generales que usan, y no exactamente las ideas científicas) está relacionado con el concepto de erosión. Este concepto está vinculado a largos intervalos de tiempo, y el proceso de formación del suelo se entiende como un proceso de sedimentación del material erosionado procedente de las montañas.

Estos resultados muestran la dificultad de aprendizaje que identificaron Reyes-Sánchez (2012) derivada de que los estudiantes de entre 10 y 12 años no tienen el concepto de tiempo geológico, se extiende con este estudio hasta las edades de los 15 años. Eso puede justificar las dificultades que encontró Happs (1981) para interpretar el suelo como con un sistema que ha seguido un proceso de evolución, considerando así que el suelo, al igual que las rocas, siempre estuvieron ahí. Esto es coherente con lo encontrado en el estudio realizado por Fernández et al. (2017) en el que señalaron que son varios los autores que encontraron que son muchos estudiantes los que consideran que el suelo y las rocas son tan antiguos como la tierra, siguiendo así una idea estática de los procesos geológicos, tal y como señalaron Álvarez y García (1996), Pedrinaci (1996) y Libarkin et al. (2005).

En cuanto a la valoración siguiendo la rúbrica de la figura 3.1 en relación a los hechos se le otorga la valoración de 1 punto porque parten de hechos sin que se visualice con claridad explícita ni implícita con el conocimiento científico, pues no se usa el conocimiento básico edafológico. Por la justificación se le otorga 1 punto porque tampoco se aprecia un apoyo implícito más que en referencias a la erosión de montañas expresada por la forma poco puntiaguda, lo que no se puede considerar una conexión acertada. Por el mismo razonamiento se le otorga también la puntuación de 1 punto por esa falta de relación con el modelo. Por eso la valoración que se le otorga a la calidad del argumento es de 3 puntos del máximo de 9 que se otorga por la rúbrica de la tabla 3.1

4.1.3.1.4 Valoración de los modelos co-construidos en relación a la formación del suelo y sus implicaciones didácticas.

El modelo implícito que evoluciona a lo largo de la discusión en grupo a la primera cuestión de este primer caso queda valorado de acuerdo con la rúbrica establecida en la tabla 3.2 de la metodología que se usa para una valoración comparativa de los modelos obtenidos por en el trabajo argumentativo colaborativo de los escolares de la siguiente forma:

1) Iniciativa, autonomía y rigor del modelo obtenido: El grupo comparte un modelo, pero sin la suficiente elaboración, claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar: 1 punto.

2) Evolución y madurez: el proceso de evolución no es suficiente para superar las ideas alternativas de partida (el suelo autóctono se forma por simple erosión de la roca madre) presentes en el modelo mental de partida: 1 punto.

La valoración del modelo de dos (2) puntos lo deja como no útil para la ciencia escolar, pero este análisis tiene el potencial para ser utilizado como referencia en los procesos de

enseñanza y aprendizaje relativos a la configuración de un modelo válido para la edafogénesis escolar en niveles de competencia curricular.

Aplicando el diagrama de validación o revisión expresado en la figura 3.10 del apartado de la metodología, en el primer paso se seleccionó la secuencia, de acuerdo con el punto 1, al tener identificado en el discurso eventos que impliquen procesos de modelización relativos al tiempo de formación del suelo justificado este tiempo en base al proceso de formación.

En el paso 2 del método de modelización expresado en la figura 3.10 se procedió a interpretar el proceso de modelización, en relación con el nivel de competencia curricular básico e inicial, que es 15 años, edad en el que si inicia el estudio edafológico en el sistema educativo español. Se interpreta el tiempo de formación del suelo en base a un proceso de sedimentación de materiales procedentes de la erosión de las montañas.

En el paso 3 se interpretó el modelo de justificación de la formación del suelo en los tiempos como un proceso alóctono por depósito de sedimentos que proceden de la erosión de montañas.

Para la revisión de la evolución del modelo que se justifica en estos resultados puede resultar muy útil la visita a un perfil edafológico descubierto por una obra pública y/o observación de fotografías. Este proceso intuitivo de observación directa o indirecta debe ir acompañado y orientado por el diseño de un andamiaje enfocado a interpretar la formación del suelo autóctono por lo que conviene realizar una visita a un corte edafológico en el que se visualice la presencia de algunos materiales de la propia roca y como estos están más cerca de la roca (horizonte C). Esta revisión del proceso de modelización interesa vincularlo con andamiajes que incluyan la asimilación de los tiempos geológicos.

4.1.3.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

La segunda cuestión que generó con su respuesta parte del discurso analizado en este primer caso es: ¿de dónde vienen los materiales que forman los suelos?

4.1.3.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.1.6 recoge los resultados obtenidos del análisis y categorización mediante las categorías relativas a las interacciones y las categorías de Toulmin para el análisis de la argumentación contenida en el discurso de la respuesta a esta segunda cuestión ¿De dónde vienen los materiales que forman los suelos?

En ese evento (figura 4.1.6) todos los estudiantes del grupo (Agustín, Alfonso, Álvaro y Antonio) participaron en la discusión sobre el origen de los materiales que forman el suelo. Los cuatro estudiantes discutieron entre ellos; el profesor actuó únicamente de orientador interviniendo en el desarrollo de la argumentación solo cuando fue demandada su participación por parte del grupo de trabajo.

En este análisis de la argumentación contenida en la secuencia de discurso del evento correspondiente a la respuesta a la segunda cuestión de este segundo caso, como siempre, se siguió la metodología de carácter general aplicada a todos los casos que consistió en categorizar los argumentos de acuerdo con las categorías de Toulmin (figura 4.1.6).

Emisor	Enunciado		
Agustín	<i>A ver, ¿de dónde proceden los materiales que forman los suelos? ¿Se encuentra siempre encima de los materiales que los originaron?</i>	P	AG-DL
Alfonso	<i>No. Hay que empezar por si se encuentran siempre encima.</i>	I	AG-PS
Agustín	<i>Primera pregunta. Primero la primera. No empieces por el final. ¿De dónde provienen? ¿Lo sabes?</i>	P	AA-DL
Alfonso	<i>De otros materiales</i>	DH	AG-PS
Agustín	<i>De la roca madre...</i>	DH	AG-AI
Álvaro	<i>Eso</i>	A	AG-PS
Agustín	<i>Provienen de la roca madre</i>	DH	AG-PS
Agustín	<i>De la roca madre ...</i>	DH	AG-PS
	<i>...que fue erosionada</i>	J	AG-EX
Antonio	<i>¿Se encuentra siempre encima?</i>	P	AG-PR
Alfonso	<i>¡Oye! (dirigiéndose a Agustín), la cuestión es de donde no hay no se puede sacar</i>	O	AA-DL
Agustín	<i>¿Cómo?</i>	P	AA-PR
Alfonso	<i>O sea, si en la roca no hay no se pueda sacar y si no hay no se pode sacar</i>	J	AA-EX
Agustín	<i>Pero mira, escucha, escucha, escucha... ¿de dónde proceden los materiales que forman el suelo? ¿De dónde provienen? De la roca madre</i>	P, C	AA-PS
Antonio	<i>Pero ¿se encuentra siempre encima?</i>	P	AG-PR
Agustín	<i>Bueno, esa es otra pregunta</i>	I	AG-DL
Agustín	<i>¿Por qué provienen de la roca madre?</i>	P	AG-DL
Álvaro	<i>Porque fue erosionada</i>	CB	AG-EX
Alfonso	<i>Porque de donde no hay no se puede sacar</i>	O	AG-PS
Agustín	<i>Claro, entonces proceden de la roca madre...</i>	C	AG-PS
Alfonso	<i>¿Por qué no puede provenir de un fragmento que se desprendió de la roca?</i>	P	AG-PR
Agustín	<i>Pero ese fragmento de roca es roca madre igual...es parte de la roca madre</i>	DH	AG-EX
Alfonso	<i>...pero antes fue magma</i>	O, CB	AG-EX
Agustín	<i>Bueno...provienen de la roca madre igual, la roca madre rompe y se transforma en arena, la arena se deshace y forma tierra, hace todo, proviene de la roca madre</i>	C	AG-EX

Alvaro	<i>Todo proviene del mismo sitio</i>	A	AG-PS
Alfonso	<i>Je, je, ¡doy trabajo, eh!</i>	A	AG-DL

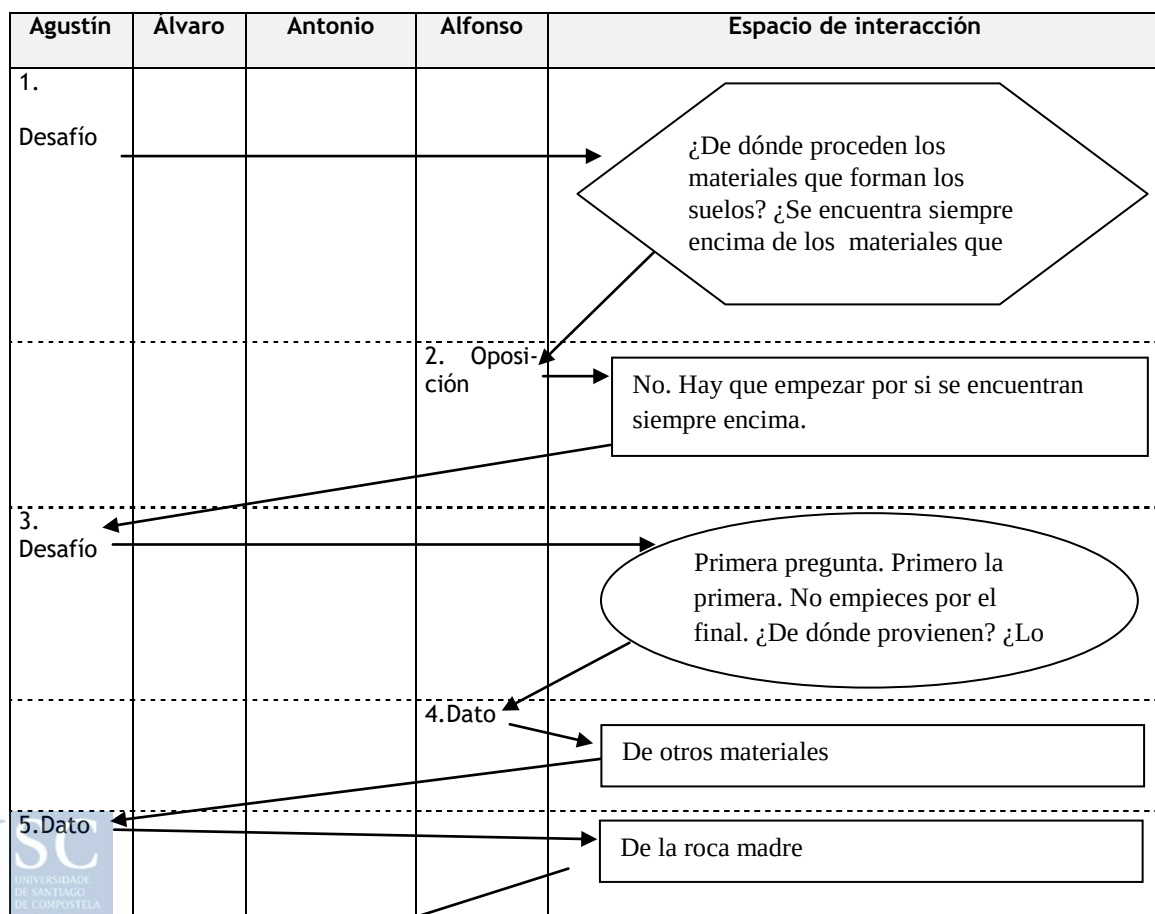
Figura 4.1.6 Transcripción del extracto 2 en el que se responde la siguiente pregunta: *¿de dónde provienen los materiales que forman el suelo?*

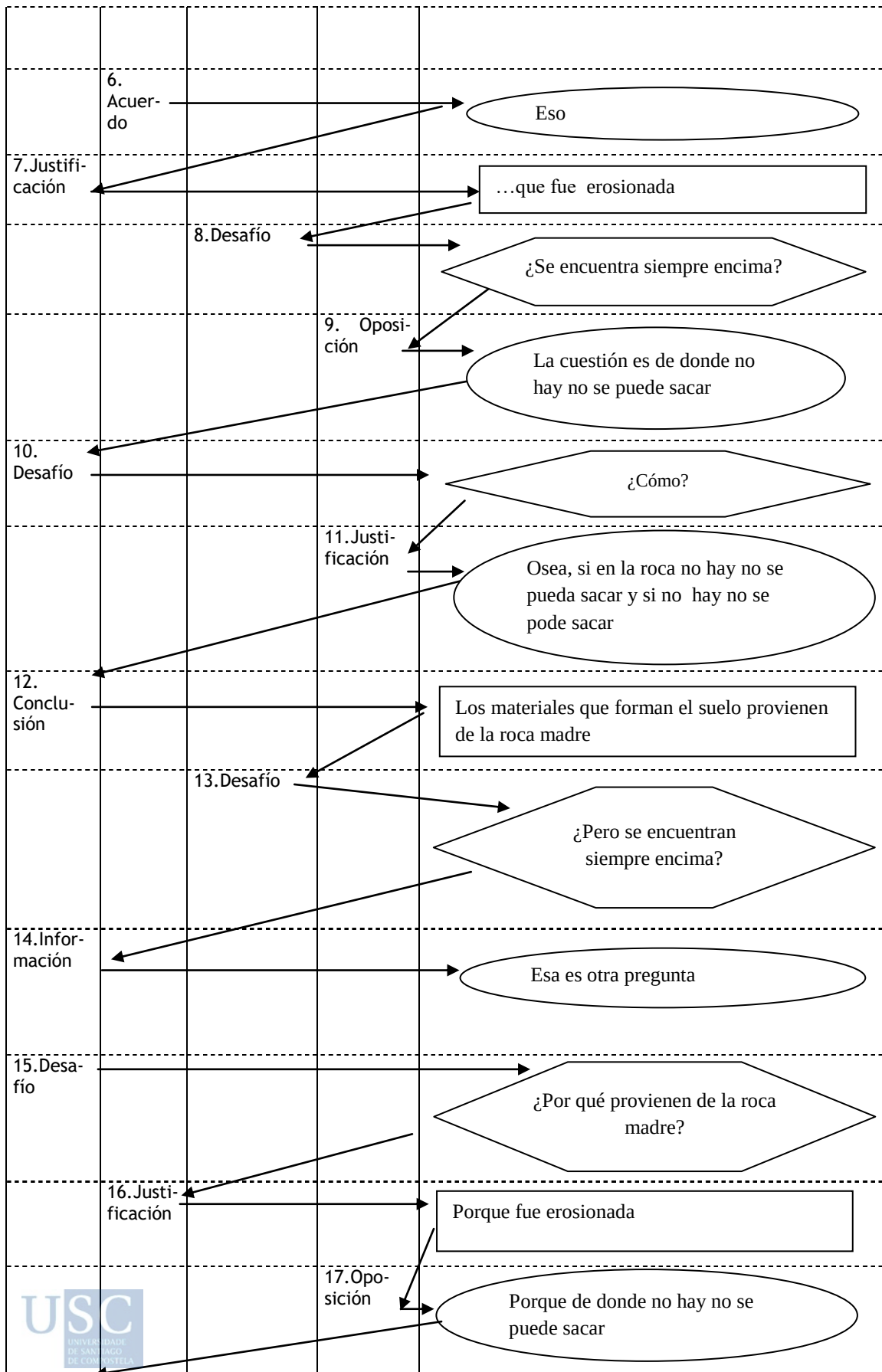
Siguiendo esa metodología, a continuación, se analiza el flujo del discurso (figura 4.1.7) con la metodología inspirada en Hogan (2000) y la estructura interna de los elementos principales de la argumentación a través de las representaciones de los argumentos de Toulmin (1958).

4.1.3.2.2 Resultados del flujo de discurso

El **flujo del discurso** se representa en la figura 4.1.7 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implicado en el discurso del equipo de trabajo a lo largo del discurso contenido en este segundo extracto.

Los resultados del flujo de discurso que muestra la figura 4.1.7 se corresponde con una secuencia Receptiva (Hogan, 2000), porque, aunque intervienen los cuatro miembros del equipo, solo dos de los participantes (Agustín y Alfonso) hacen declaraciones sustantivas.





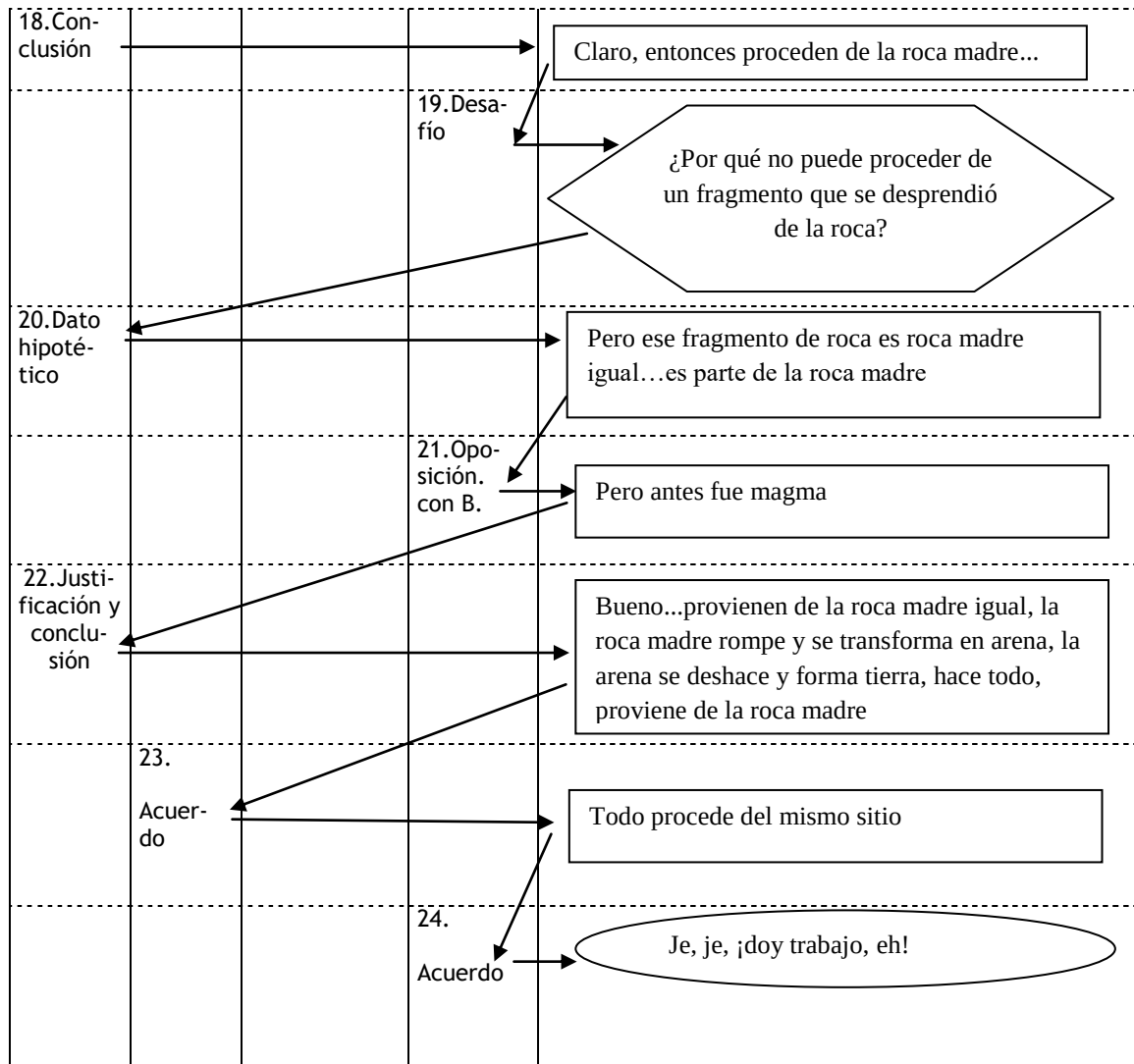


Figura 4.1.7 Mapa del discurso del evento 2 generado durante las respuestas colaborativas de los cuatro estudiantes del grupo, sin la intervención docente, a la pregunta: ¿de dónde provienen los materiales que forman el suelo?

Se puede considerar una secuencia colaborativa por cuanto que interviene los 4 estudiantes en la construcción del argumento. Como en la secuencia de la respuesta colectiva a la primera pregunta, también en la de la respuesta a esta segunda cuestión Agustín asumió el liderazgo lanzando la demanda de conocimiento para iniciar la construcción de la respuesta. Lo hizo desde el planteamiento inicial de una conclusión en la que se reafirmó a lo largo de todo el discurso: “*el suelo procede de la roca madre*”. Para su justificación encontró una declaración sustantiva en una contribución de Alfonso, quien ha introducido el conocimiento básico relativo a la erosión, sin descartar que a nivel implícito su modelo pueda considerar también la meteorización, pero que este nunca llegó a explicitarse. En ese rol de líder, enuncia una conclusión que apunta a un concepto central aglutinador uso del modelo mental: “*el suelo procede de la roca madre*”. Pero en este caso también existe una participación de cierto liderazgo por parte de Antonio, quien en cierta manera adopta un rol de retar en la demanda de conocimientos al patrón manifestado por el profesor en la secuencia de la respuesta

colectiva a la primera cuestión de este caso. El docente no interviene en esta segunda secuencia analizada porque el grupo no llega a demandar sus orientaciones. En ese rol de liderazgo, Agustín aparta la atención del grupo de la segunda parte de la pregunta que buscaba justamente aproximar el conocimiento básico al uso de un modelo escolar apartado de la idea alternativa de formación del suelo autóctono por un proceso erosivo de la roca madre. Esa pregunta la quiere atender Antonio, posiblemente por lo que puede significar de oportunidad de centrar la argumentación en un modelo que coincida con un conocimiento básico más sustantivo para esta argumentación. Antonio no había intervenido en la búsqueda de la respuesta a la primera cuestión, lo que podría tener que ver con que se siente menos inhibido, al argumentar esta vez solo estudiantes, sin la intervención del docente.

De la falta de atención de Agustín a la segunda parte de la pregunta, puede inferirse que quiere apoyarse en un modelo geológico que le de seguridad, que es el de la idea alternativa una supuesta formación del suelo autóctona a partir de la roca madre en el que participa únicamente la erosión. Alfonso no parece satisfecho con un modelo de formación del suelo únicamente por erosión, porque parece entender que no se puede formar suelo con la contribución única de la roca disgregada, o al menos eso parece inferirse con la expresión de *“donde no hay no se puede sacar”*. Esta expresión parece demandar a nivel implícito un modelo que implique procesos de transformación química que permitan hacer surgir el suelo como una entidad geológica con una naturaleza diferenciada a la que tendría una agregación de partículas que resulten únicamente de la erosión de la roca. En todo caso en el modelo que usan contiene ideas alternativas que los llevan a confundir meteorización química con erosión, pues parece que el modelo supone que las partículas permanecen in situ utilizando el concepto de erosión que implica su inmediato transporte a otros lugares. En ningún caso aparece la meteorización química y, en cuya dimensión la argumentación del grupo no se adentra.

Se centran únicamente en la primera etapa de formación del suelo, pero contemplan únicamente la meteorización física de la roca madre, obviando la meteorización química. Tampoco explicitan nada sobre la acción de una serie de agentes externos como el agua o el viento. No se contempla tampoco en el modelo que evoluciona a lo largo de la argumentación las transformaciones de edafogénesis autóctona posteriores a la meteorización que se necesita en el modelo que demanda la respuesta. Queda por tanto obviado los cambios que atribuyen a ese modelo escolar de ciencias del suelo que describen Fernández et al. (2017) relativos a la alteración química de los fragmentos de la roca madre, sobre los que, al asentarse los primeros organismos vivos, entre ellos líquenes, tiene lugar el inicio de la meteorización biológica. Al apartar de la argumentación la búsqueda de respuestas a la segunda parte de la pregunta, se pierde de vista su finalidad orientada a incorporar en el modelo de edafogénesis escolar el hecho de que el suelo va adquiriendo un mayor espesor y sustentando cada vez más vegetación con el paso del tiempo geológico, un concepto que como se vio en el análisis de la secuencia de la respuesta a la primera cuestión, está distante de los modelos mentales de los cuatro miembros de este grupo de trabajo.

En base a lo expuesto en el párrafo anterior, en cierta manera se puede inferir que Alfonso no está satisfecho con el modelo simplista de la meteorización física como único proceso. Puede que sea esa insatisfacción la que le lleve a intentar ampliar el conocimiento del modelo al aludir al proceso de consolidación del magma en la formación de una roca, usando para ello un modelo más amplio vinculado al ciclo de las rocas.

Aunque existen bastantes similitudes en el patrón del flujo de este discurso con el de la respuesta a la primera cuestión, en este caso la secuencia es algo más amplia, perdiendo dimensión consensuada a favor de una receptiva. Esto se debe a la aportación sustantiva de Alfonso con la explicitación del modelo e incluso con las manifestaciones implícitas de insatisfacción de su simplismo al centrarse únicamente en el concepto de erosión. Otra diferencia importante es la no participación del docente en esta segunda secuencia del caso. Si bien aquí el rol de desafiar al conocimiento del grupo y el liderazgo del grupo lo asume Agustín, adoptando un rol semejante al del docente en la secuencia de la primera respuesta, en cuya argumentación no había participado este alumno. Alfonso intenta llevar al grupo a un modelo de análisis más amplio e integrar las dos preguntas, un camino que llevaría al grupo a tener que situarse en un marco más edafológico, que sería el conocimiento básico que demandaba Alfonso. Pero el peso del liderazgo de Agustín posiblemente termina por desactivar este interés de Antonio por buscar respuestas más amplias y coherentes, motivo por el que puede estar buscando en la expresión final una justificación al grupo por una insistencia oponiéndose y contra retando.

4.1.3.2.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con en el proceso de modelización.

En la figura 4.1.8 se expresan mediante un esquema de Toulmin las conexiones y relaciones internas entre las partes principales del discurso (conclusiones, datos y justificación) que integran la argumentación recogida en el evento de discurso que contiene la argumentación co-producida en las respuestas a la segunda cuestión del caso por los cuatro miembros del grupo de trabajo. La transcripción de las interacciones y de la argumentación quedó recogida en los resultados que integran el contenido de la figura 4.1.6 y cuya expresión de resultados mediante flujo del discurso (Hogan et al., 2000) se plasmó en la figura 4.1.7. La argumentación así expresada fue generada con las aportaciones de los cuatro estudiantes que componen el grupo (Agustín, Alfonso, Antonio y Álvaro), sin que hayan demandado en ningún momento las orientaciones del docente.

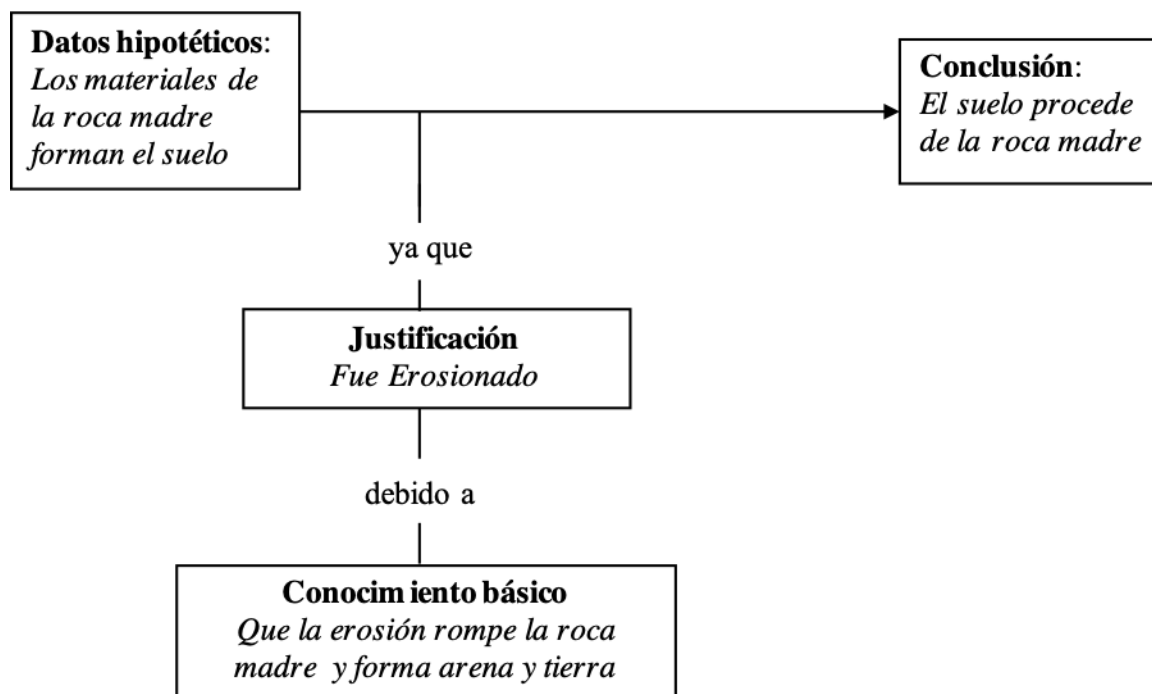


Figura 4.1.8. Argumento construido a partir de la discusión recogida en el extracto del discurso del extracto 2 recogido en la figura 4.1.6 cuyo diagrama de discurso queda expresado en la figura 4.1.7.

Las aportaciones más sustantivas del argumento son las de Agustín y las de Alfonso. Su inicio se corresponde con datos hipotéticos que aporta Agustín una formulación asimilable a una conclusión: “*el suelo procede de la roca madre*”. Su conocimiento básico se va centrando en los procesos geológicos externos. Pero se encuentra con la oposición de Alfonso, quien sostiene que de la roca madre no puede formar suelo por un proceso único de meteorización física resultante de la disgregación de la roca. Se opone en base al dato implícito de que el suelo no puede proceder únicamente de la roca madre, pues no forma parte de ella. Esto lo expresa con la frase “*De donde no hay no se puede sacar*”. Sin embargo, en su justificación acaba apoyando indirectamente la propuesta de Agustín cuando pregunta “*¿Por qué no puede proceder de un trozo de una roca?*”, pues la respuesta a la misma es la conclusión establecida por Agustín.

Esta ausencia en los modelos mentales de teorías implícitas relativas a la participación de la meteorización química y biológica se puede interpretar desde lo expresado por Pozo y Gómez Crespo (1998), sobre la influencia del sentido común y del funcionamiento cognitivo intuitivo aplicada a la interpretación de la naturaleza de la materia y sus cambios. Estarían así aplicando este conocimiento intuitivo y cotidiano a la predicción y control de los fenómenos implicados en la formación del suelo, abordando estos procesos desde modelos contruidos a partir de sus observaciones de los fenómenos cotidianos. De esta forma están llevando la interpretación de procesos que ocurren en tiempos geológicos desde concepciones y representaciones que están únicamente mediadas por nuestros sentidos en su experiencia vital, quedando la evolución de la modelo mental estructurada desde una concepción continua de la materia (Driver et al., 1994; Pozo et al., 1999) que lleva a interpretar la aparición del suelo como una simple disgregación de la roca madre. Esta interpretación puede ser una prueba del

grado de arraigo de las concepciones macroscópicas del mundo dificultan el hecho de buscar otros cambios diferentes a los físicos para explicar el origen autóctono del suelo a partir de la roca madre, lo que puede ser una barrera para comprender la naturaleza de recurso no renovable del suelo.

En la estructuración del argumento analizado posiblemente fue una pérdida de oportunidades para el grupo no seguir la idea expresada por Alfonso que “*donde no hay no se puede sacar*”. Pero también pudo ocurrir que la oposición expresada por Alfonso a la línea de enfoque simplista macroscópica abierta por Agustín, en la construcción de este argumento, no fuera tanto hacia lo sustantivo del mismo, porque también es posible que estuviera afirmándose en el grupo y disputando así el claro y decidido liderazgo que ejerce Agustín, actitud que se manifestaría a lo largo del desarrollo de la unidad didáctica según las notas del observador de campo. Esto puede explicar que Alfonso termine diciéndole a Agustín “*Je, je...;te doy trabajo eh!*”, cuando queda establecida definitivamente la conclusión. En la secuencia de la respuesta colectiva a la primera cuestión no había participado Antonio, llevando el peso del desarrollo de la secuencia Agustín de forma muy consensuada y con cierta ayuda en esta línea de Alfonso. Esto pudo motivar que, de alguna forma, al introducirse Antonio con una cierta de vocación de liderazgo en la argumentación de la respuesta a la segunda cuestión, Alfonso sintiera la necesidad de afianzarse ante el cierto co-liderazgo emergente de Antonio. Pero también puede ocurrir que esta expresión final de cesión por parte de Alfonso estuviese motivada por la fortaleza del acuerdo en el modelo usado compartido por Agustín y Antonio.

En la valoración del argumento los hechos de los que parte no permiten una visualización del conocimiento científico, porque atribuye la formación del suelo a la erosión, sin mencionar la meteorización de la roca madre. Por eso se le asigna la puntuación de 1 punto por el patrón 1c de hechos. Como no existe un apoyo explícito al conocimiento básico en la justificación se la asigna la puntuación de 1 punto y por el mismo razonamiento se le otorga la valoración de 1 punto en el apartado de conclusión. Por tanto, la valoración de la calidad del argumento siguiendo la rúbrica de la figura 3.1 es de 3 puntos sobre el total de la valoración máxima de 9 puntos.

4.1.3.2.4 Valoración de los modelos co-construidos e implicaciones didácticas

Aplicando el diagrama de validación o revisión expresado en la figura 3.10 del apartado de la metodología, en el primer paso se seleccionó la secuencia de acuerdo al punto 1 al tener identificado en el discurso eventos que impliquen procesos de modelización relativos a la formación del suelo autóctono en las estrategias de investigación que quedaron expresadas y analizadas en los resultados relativos al discurso y argumentación correspondientes a la respuesta del segundo caso.

En el paso 2 del método de modelización expresado en la figura 3.10 se procedió a interpretar el proceso de modelización en relación al nivel de competencia curricular básico e inicial, que es 15 años, edad en el que si inicia el estudio edafológico en el sistema educativo español. Se encontró una identificación del modelo de edafogénesis con el proceso de erosión.

En el paso 3 se interpretó la ausencia de los procesos de meteorización física y química en el proceso de edafogénesis y se buscó su explicación en la interpretación de la naturaleza continua e inalterable de la materia. También se evidenció las insatisfacciones, especialmente

de Alfonso, y la pérdida de oportunidades para buscar vías de evolución del modelo inicial hacia la incorporación de la meteorización, en especial en el desperdicio de la posible línea implícita en la expresión enunciada por Alfonso de que *“de donde no hay no se puede sacar”*.

Una vez conseguida esa representación del concepto central claramente insuficiente que establece una correspondencia de edafogénesis con erosión, se llega a la conclusión que el modelo que evoluciona con la argumentación no tiene el nivel de coherencia curricular suficiente para actuar como modelo de ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular, por lo que requiere de su revisión.

Para que ese proceso de revisión sea útil a la comprensión del proceso de la formación del suelo y sus implicaciones como recurso no renovable se requiere introducir el andamiaje necesario para que en su ontología se integre la meteorización química y biológica. En ese proceso se deben buscar evidencias, datos analogías y símiles que impliquen la introducción de esos procesos químicos derivados de la acción del agua, del aire y de los seres vivos: oxidación de una punta en ácido clorhídrico, desaparición de zinc, disolución de carbonatos, efectos de ácidos sobre restos de seres vivos, compostaje, etc. En ese diseño de andamiaje para la revisión y mejora del modelo en procesos de enseñanza y aprendizaje se deben tener presentes la introducción de conflictos cognitivos que permitan modificar las ideas alternativas presentes en este modelo aquí descrito. Por último, se buscarán representaciones infográficas de este modelo, su edición relacionada con fotografías ejemplos y los apoyos de titulación y textos, vinculados a las preguntas más sustantivas del andamiaje diseñado desde la revisión del modelo extraído de estos resultados.

El modelo implícito que evoluciona a lo largo de la argumentación que da respuesta colectiva a la segunda cuestión de este primer caso queda valorado de acuerdo con la rúbrica establecida en la tabla 3.2 de la metodología que se usa para una valoración comparativa de los modelos obtenidos por en el trabajo argumentativo colaborativo de los escolares de la siguiente forma:

- 1) Iniciativa, autonomía y rigor del modelo obtenido: el grupo comparte un modelo, pero sin la suficiente elaboración, claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar: 1 punto.
- 2) Evolución y madurez: el proceso de evolución no es suficiente para superar las ideas alternativas de partida (el suelo autóctono se forma por simple erosión de la roca madre) presentes en el modelo mental de partida: 1 punto

La valoración del modelo de dos (2) puntos lo deja como no útil para la ciencia escolar, pero este análisis tiene el potencial para ser utilizado como referencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje relativos a la configuración de un modelo válido para la edafogénesis escolar en niveles de competencia curricular.

4.1.3.3 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

La tercera a cuestión que generó con su respuesta parte del discurso analizado en este primer caso es: *¿qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?*

4.1.3.3.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión

El tercer evento se corresponde al discurso con el que el grupo de los cuatro estudiantes responden a la tercera pregunta: *¿Qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?* En el evento recogido en la figura 4.1.9 se categoriza a nivel de las interacciones y la argumentación del discurso que han generado los cuatro estudiantes del grupo (Agustín, Alfonso, Álvaro y Antonio) buscando respuestas a la cuestión relativa a los factores que inciden en la formación del suelo. En este evento, estos estudiantes discutieron entre ellos con bastante autonomía y apoyándose en el conocimiento del profesor para aclarar dudas.

En la figura 4.1.9 se recogen los resultados del análisis del discurso mediante las categorías del flujo del discurso representado con esquemas de Hogan et al. (2000) y el análisis de la estructura a través de la representación de las relaciones clave entre los principales elementos del discurso mediante esquemas de Toulmin (1958).

El recurso didáctico utilizado para poder dar respuesta colectiva a la pregunta relativa a los factores de formación fue la lectura de un texto didáctico ilustrado con infografías didácticas que conceptualizan a nivel gráfico la incidencia de los diferentes factores. La lectura colectiva se hace en el grupo, pidiendo en la parte final orientaciones e información al docente.

Agustín	<i>A ver qué ¿qué factores influyen en la formación del suelo en el clima continental?</i>	P	AG-DL	-
Antonio	<i>El tipo de clima que hay, el suelo que tienen, la lluvia, el frío, o el calor</i>	DH	AG-EX	-
Álvaro	<i>El tipo de suelo.... el clima</i>	DH	AG-EX	-
Antonio	<i>¡Tranquilo! No grites tanto.....transporte, erosión...</i>	DH	AG-EX	-
Álvaro	<i>El tipo de suelo y el clima</i>	DH	AG-AI	-
Agustín	<i>Ordénalos por orden de importancia</i>	I	AG-DL	-
Álvaro	<i>¿Y por qué? ¿Qué factores?, el clima y el suelo</i>	P	AG-PR	-
Alfonso	<i>¿Qué clima es este?</i>	P	AG-PR	-
Agustín	<i>Eso es lo que le quiero preguntar yo (referido al profesor)</i>	P	AG-DL	-
Antonio	<i>Llámallo Carlos (pidiéndolo a un alumno del grupo C más cerca del profesor)</i>	P	AA-DL	-
Agustín	<i>A ver, ponerlo, sino pon primero el suelo, porque hay que ponerlo de más a menos importante</i>	I	AG-DL	-
Alfonso	<i>¿Cómo influye el suelo en las condiciones y cómo influyen las condiciones en el suelo?</i>	P	AG-PR	-
Miran para los árboles y comentan la forma de los frutos				
Agustín	<i>Vamos con esto. ¿Qué factores?</i>	P	AG-DL	-

Álvaro	<i>El suelo y el clima</i>	C	AG-AI	-
Álvaro	<i>(...) esto es como preguntar que es primero, el huevo o la gallina</i>	O	AG-PS	-
Agustín	<i>Dependiendo de la duración del suelo y de la resistencia a la erosión, ...</i>	CM	AG-Ex	-
Agustín	<i>...se erosionará antes o después.</i>	J	AG-EX	
Agustín	<i>¡Vamos a ver, vamos a ver!</i>	I	AG-DL	
Álvaro	<i>¿Escuchas?</i>	I	AA-DL	-
Agustín	<i>¿Qué?</i>	P	AA-PR	-
Álvaro	<i>Vamos a ir despacio, déjame esto (se refiere a la hoja del dossier en con el texto didáctico ilustrado referido a la pregunta)</i>	I	AA-DL	-
Agustín	<i>Dentro de estos factores están la erosión, el transporte y la sedimentación.</i>	CB	AG-EX	-
Álvaro	<i>¡Esto va mal!...</i>	O	AG-DL	-
Álvaro	<i>...meteorización física, química y biológica y nada más</i>	CB	AG-EX	
Agustín	<i>También influye el tipo de suelo, se es más duro tarda más en erosionarse y también influye el clima. Influye todo esto (señalando la hoja del dossier), influye todo esto.</i>	DH, J	AG-EX	-
Álvaro	<i>Juan (dirigiéndose al portavoz del grupo 8), ¿tienes una goma?</i>	-	GG-FN	-
Leen en silencio Álvaro y Agustín, mientras los otros dos hablan entre ellos de alguna compañera de otra clase.				
Agustín	<i>Bueno, la meteorización química.... vamos a ver...hay que explicar porque ocurre</i>	P	AG-DL	-
Álvaro	<i>Meteorización física: dilatación de minerales, efecto de la cuña...</i>	J	AG-AI	-
Agustín	<i>Profesor</i>	I	-	
Profesor	<i>Dime</i>	I	-	IN-PR
Agustín	<i>¿La meteorización física, química y biológica pueden tener que ver con el clima? Porque los organismos también hacen meteorización química</i>	P, J	-	-
Profesor	<i>Con la meteorización biológica se refiere a la acción de los seres vivos</i>	D	-	GP-AD
Agustín	<i>Sí, si hay muchos actúan más y eso puede depender del clima</i>	J	-	
Profesor	<i>Haya muchos o pocos, ...puede depender igualmente de los seres vivos</i>	CM	-	GP-AD
Agustín	<i>Luego, el que haya muchos, ¿Puede tener que ver con el clima</i>	P	-	

Profesor	<i>Hombre... sí que se puede relacionar con el clima o que haya muchos individuos</i>	C	-	IN-AD

Figura 4.1.9 Transcripción del extracto 3 en el que se responde la siguiente pregunta: *¿qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?*

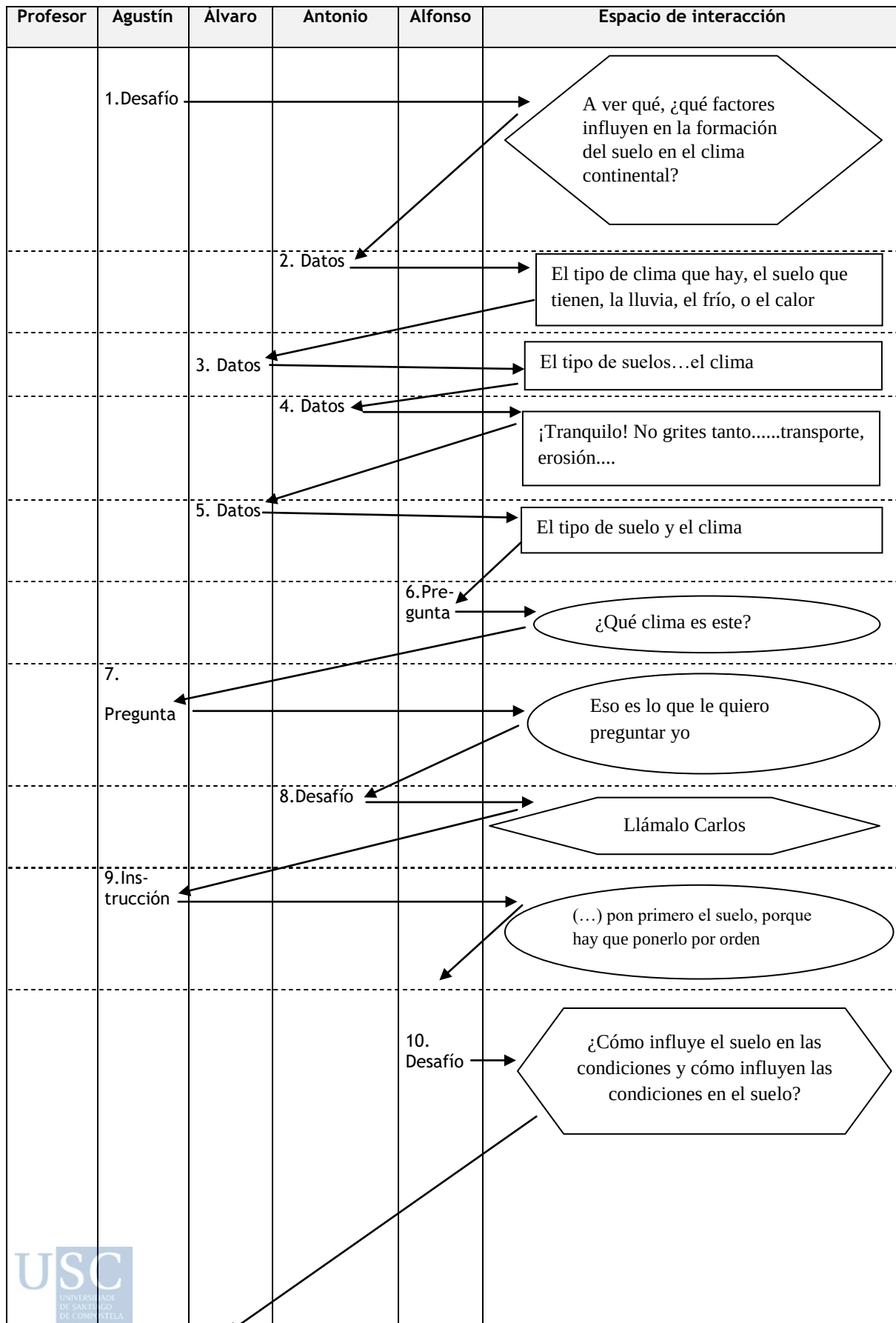
4.1.3.3.2 Resultados del flujo de discurso

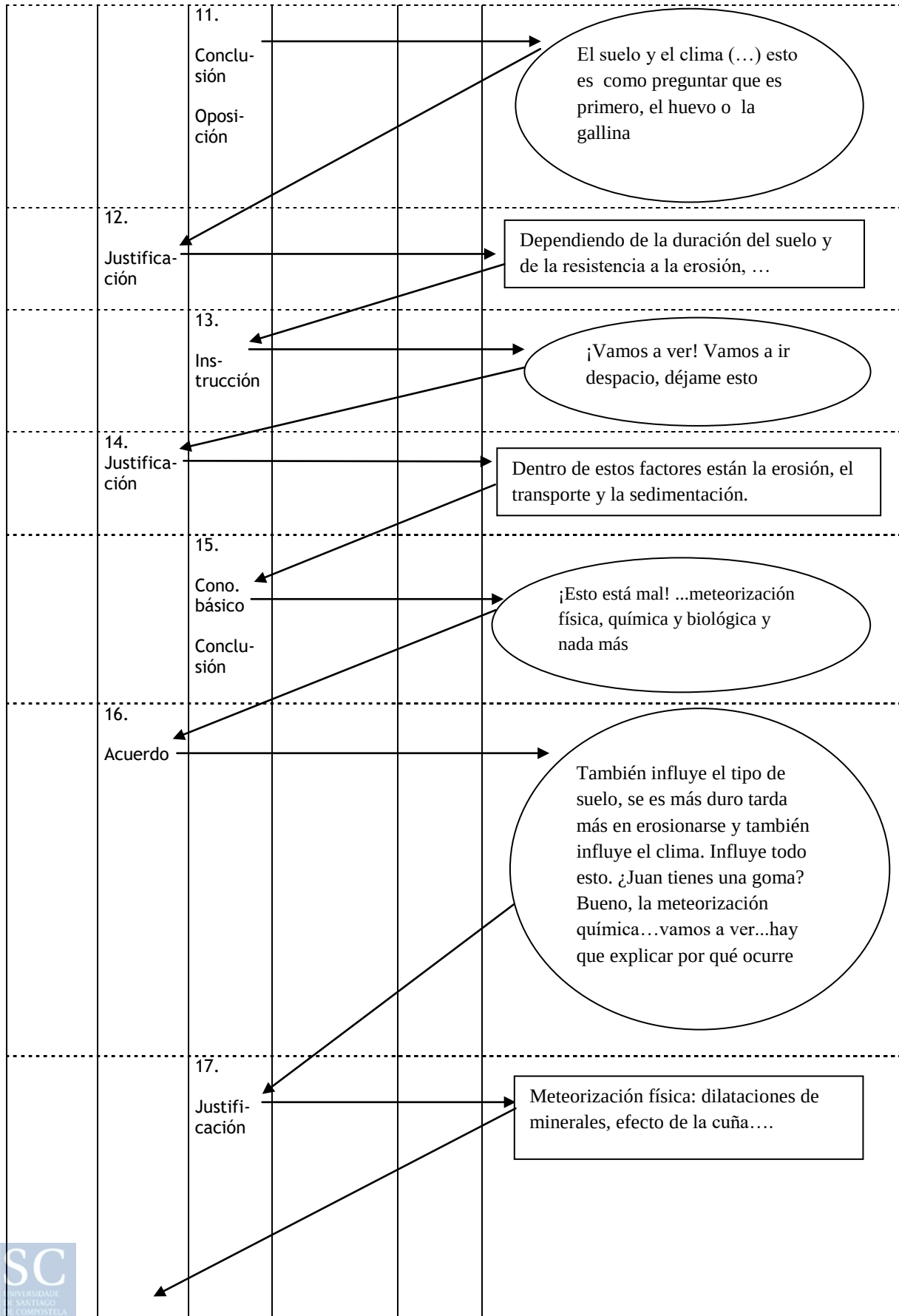
El flujo del discurso se representa en la figura 4.1.10 en forma de “mapa de discurso” (Hogan et al., 2000) que expresa el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implicado en el discurso del equipo de trabajo a lo largo del discurso contenido en este segundo evento.

Este discurso fluye sin la intervención del docente, construyendo los cuatro alumnos del grupo A de forma colaborativa a los factores que determinan la formación del suelo, aunque al final tiene que intervenir el docente por petición de los estudiantes que parecen tener dificultades para comprender la página del dossier que explica, a través de un texto didáctico ilustrado con infografías, el proceso de formación. Los alumnos encuentran dificultades para entender el texto, y necesitan de la intervención del docente, quedando bloqueados dos veces a la espera de que el profesor los pueda atender, porque se encontraba aclarando dudas a diferentes grupos.

Como se muestra en el mapa del discurso, de nuevo Agustín toma el liderazgo del grupo y se muestra enérgico para imponer su criterio, que se centra sobre todo en suelo y en el clima, que prioriza como factores clave, si bien no tiene claro cuál es más importante. Los alumnos no parecen entender bien la pregunta porque demandan la atención del profesor quien tampoco parece ser consciente de las dificultades que tienen. Cuando hablan de “suelo” los alumnos hablan de resistencia a la erosión y de tiempos de alteración, en términos de edafogénesis. Parece que no contemplan la meteorización y no logran entrar a justificar como los elementos del clima y los seres vivos inciden en la formación del suelo.

Siguen usando el mismo modelo “erosivo” que en las preguntas anteriores, lo que puede estar reforzado por el consenso al que llegaron en las respuestas a las dos cuestiones anteriores. Sin embargo, aquí no se encuentran ni satisfechos ni seguros con ese modelo. De nuevo Agustín sitúa el origen del suelo como un proceso alóctono a la roca madre, al incorporar, como factores clave la erosión, el transporte y la sedimentación. Eso es coherente con las posiciones de este alumno líder que se reflejaron en el análisis en los dos eventos anteriores. El análisis del flujo del discurso que se expresa en el mapa del discurso de la figura 4.1.10 muestra importantes dificultades de comprensión del texto, que impide a los alumnos llegar a conclusiones relevantes, lo que parece derivar de la falta de un modelo mental coherente de la meteorización, si bien Álvaro expresa el concepto de meteorización física, química y biológica como factores edafogénicos clave en la formación. Pero a la vista de la evolución de la argumentación parece que citó ese concepto porque lo vio relevante en el texto, pero sin integrar en un modelo mental. La falta de comprensión se visualiza muy bien en la expresión de Alfonso “¿Cómo influye el suelo en las condiciones y cómo influyen las condiciones en el suelo?”.





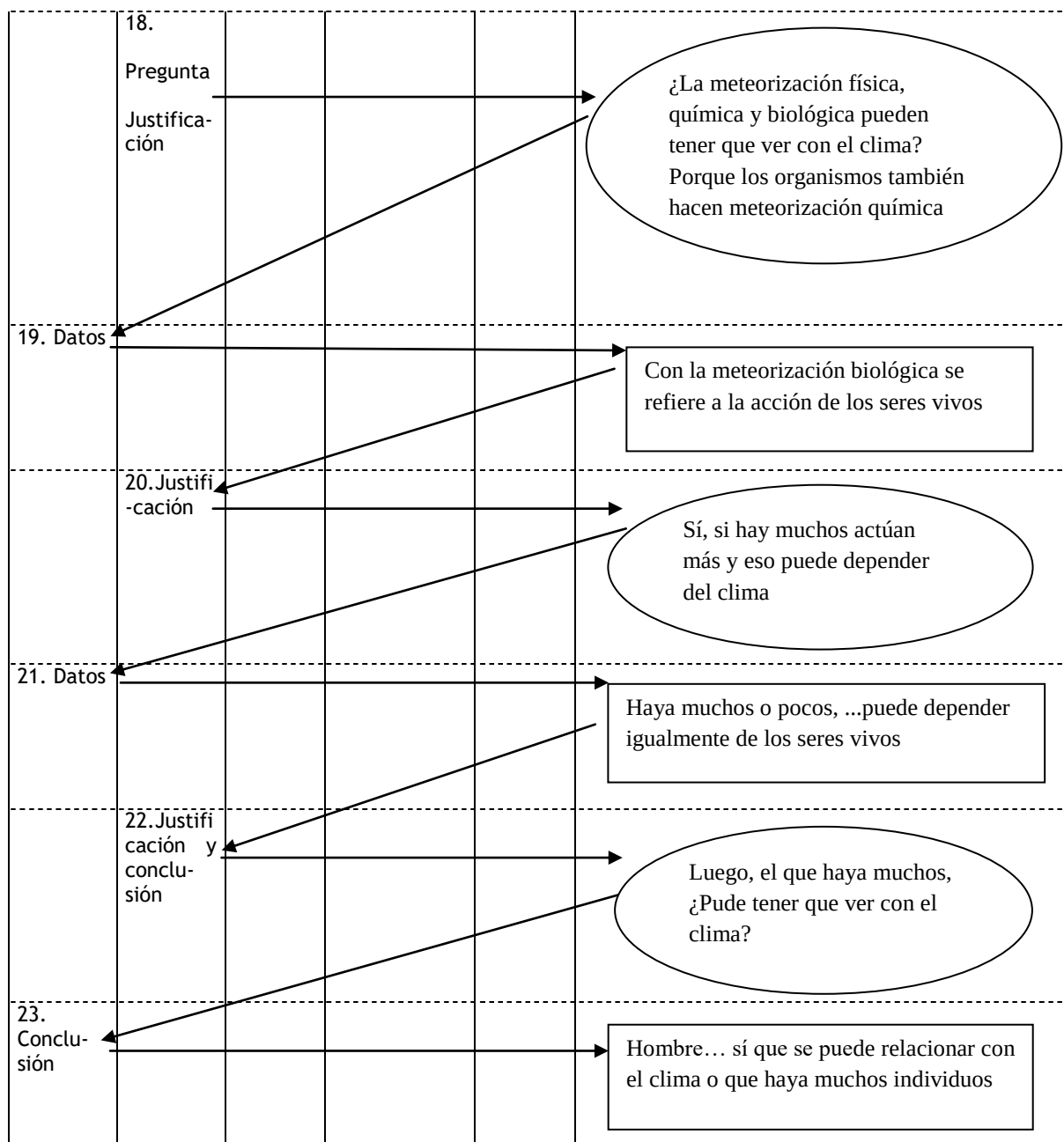


Figura 4.1.10. Mapa del discurso del extracto 3, generado durante las respuestas colaborativas de los cuatro alumnos del grupo, con la intervención del docente en la parte final del extracto, a petición de los alumnos, para responder a la pregunta: ¿qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?

La figura 4.1.10 expresa un flujo de un discurso en el que participan todos, por lo que se da un patrón colaborativo (Hogan, 2000), pero que a diferencia de los dos anteriores tiene en Álvaro un contrapeso del liderazgo en el grupo ejercido por Agustín y se genera así una secuencia receptiva. Se visualiza las dificultades que tienen los alumnos para comprender la incidencia de los factores de la formación del suelo, algo fundamental en la conceptualización del suelo como recurso no renovable. Agustín, como ya se comentó, aplica un modelo que vale únicamente para interpretar un proceso de suelo alóctono, a través de procesos de erosión, transporte y sedimentación. Se evidencia así las ideas alternativas de la formación de

los horizontes en el suelo por un proceso sedimentario, tal y como encontraron Yus y Rebollo (1993)

El análisis del mapa del discurso permite visualizar la dificultad de diferenciar rocas de suelo, por cuanto que hablan de alteración del suelo como resultado de la acción de sus propios procesos de formación. Esto es coherente con lo encontrados en diferentes estudios como los de Álvarez y García (1996), Pedrinaci (1996) y Libarkin et al. (2005). De alguna forma la concepción estática de los procesos geológicos está presente en los modelos de partida. Si bien Álvaro termina llegando a situar los procesos de meteorización en el conocimiento básico necesario para activar una modificación del modelo de partida para conseguir aproximarse al proceso de la formación de los suelos autóctonos.

Sigue sin avanzar el modelo de edafogénesis hacia el reconocimiento de la presencia de organismos en el suelo como relevante para su proceso de formación y evolución, y por tanto tampoco integran su papel como responsables de la descomposición de la materia orgánica o su relación con las rocas (Yus y Bueno, 1993; Ibarra, et al., 2010). No acaban de llegar a conclusiones mediante justificaciones basadas en la percepción del suelo como algo dinámico donde tienen lugar múltiples interacciones entre sus componentes.

Sobre la presencia de horizontes en el suelo, Yus y Rebollo (1993) encontraron que los alumnos los asociaban con los estratos sedimentarios. Los estudiantes de secundaria pueden entender la erosión como un desastre natural como la pérdida de suelo por fuerzas externas, como el desprendimiento del suelo, pero también pueden considerar que el suelo se forma por la sedimentación de materiales erosionados en otros sitios.

Sin embargo, a Agustín le preocupa encontrar la relación del clima con los organismos y por tanto esa parece ser una estrategia interesante para que los estudiantes puedan establecer conexiones de los efectos del cambio climático sobre el suelo como recurso no renovable.

4.1.3.3.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con el proceso de modelización.

Para el análisis de las conexiones de los elementos claves del discurso se siguió el esquema del argumento del extracto de discurso colectivo correspondiente a la respuesta de la tercera cuestión del primer caso, que se representa en la figura 4.1.11.

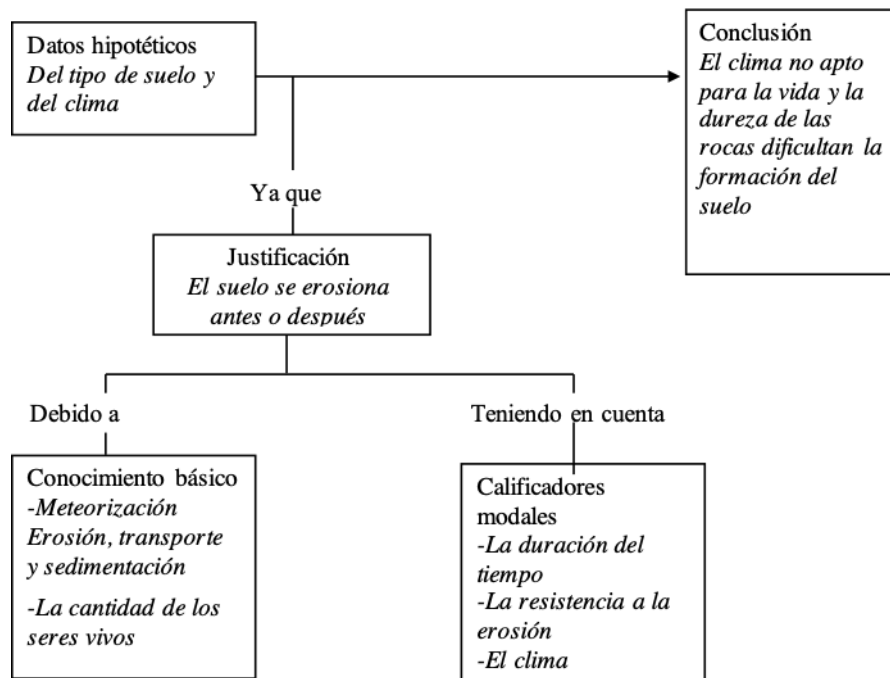


Figura 4.1.11 Esquema de Toulmin del discurso generado durante las respuestas colaborativas de los cuatro alumnos del grupo, con la intervención del docente en la parte final del extracto, a petición de los alumnos, para responder a la pregunta: ¿qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?

Los datos hipotéticos de partida los aporta por primera vez Antonio, que fueron simplificados por Álvaro agrupando lluvia frío y calor en clima. La justificación la aporta Agustín en base a la erosión del suelo que calificó modalmente en la intervención anterior cuando indica que deben tenerse en cuenta: el tiempo necesario para la meteorización, la resistencia a la erosión y el clima. El conocimiento básico en el que se apoya dicha justificación, lo aporta inicialmente Agustín “*dentro de estos factores están la erosión, el transporte y la sedimentación*” siendo complementado por Álvaro de forma muy significativa y relevante al expresar como factores determinantes del origen del suelo la “*...meteorización física, química y biológica...*”, aunque con ello se opone a lo enunciado por Agustín, excluyendo la erosión, el transporte y la sedimentación, y generando una oportunidad, finalmente desaprovechada, de orientar la evolución del modelo mental hacia el origen autóctono del suelo que se corresponde con el modelo de ciencia escolar demandado.

Agustín hace una aportación muy relevante para extraer estrategias y pautas de argumentación que permitan transferir a los currículos el informe IPCC Special Report 2019 relaciona la meteorización con el clima “*la meteorización física, química y biológica tiene que ver con el clima porque los organismos también hacen meteorización*”. Esta idea la complementa más adelante “*si hay muchos pueden actuar más, y eso depende del clima*”. De la unión de estas dos expresiones se infiere la conclusión que queda poco definida como consecuencia de la dificultad que supuso su obtención, para lo que fue necesario consultar al profesor tal y como se observa en la transcripción.

En la valoración de este argumento aplicando los patrones de referencia de la rúbrica de la tabla 3.1 para valorar la calidad de argumentos se le asigna 2 puntos porque se apoya en hechos hipotéticos con coherencia científica. También se le otorga la puntuación de 2 puntos

por la concordancia aceptable de los hechos hipotéticos y las conclusiones, que se hace mediante conexiones implícitas con el conocimiento básico porque cita los principales factores de formación del suelo. Se considera que con la intervención del docente el grupo logra una conclusión que explicita con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar el modelo científico coherente, por lo que se le otorga 3 puntos por la conclusión. Por tanto, el argumento obtiene 7 puntos de los 9 puntos.

4.1.3.3.4 Valoración de los modelos co-construidos e implicaciones didácticas

El análisis del desarrollo de la argumentación siguiendo el esquema de la figura 3.10 no evidencia un grado de desarrollo ontológico en el modelo de ciencia escolar que se usa para la interpretación de los factores de formación del suelo. La única analogía que llegan a usar es el efecto cuña del hielo y el modelo no evoluciona para superar esa sesgada y simplificada interpretación de la meteorización. En la evaluación del grado de acierto, satisfacciones y acuerdos se identifican insatisfacciones, discrepancias que tienen su origen en lagunas conceptuales como es el caso del concepto del suelo y de la comprensión del suelo como un ente dinámico que resulta de un proceso de formación autóctono derivado de la incidencia de determinados factores sobre el suelo.

Se perciben confusiones entre los conceptos de suelo y de erosión. Por tanto, el modelo no tiene la suficiente coherencia para interpretar la relación de los diferentes factores que intervienen en la formación del suelo, y siendo incapaz de aproximar a los estudiantes a la comprensión del proceso de la contribución de cada uno de los factores de edafogénesis. El único avance en la maduración del modelo se produce en el reconocimiento de la presencia de seres vivos y la incidencia que sobre ellos puede tener el suelo. Por eso se requiere de una revisión de la que derive un diseño de un proceso de andamiaje para favorecer la maduración del modelo en la línea de poder interpretar los efectos de la desertificación por cambio climático sobre los seres vivos. Interesa centrar la atención en la meteorización química y en la acción de los seres vivos en la formación del suelo, ejemplificando el papel de los elementos del clima en esos procesos.

En relación con la valoración de la autonomía, rigor y grado de maduración del proceso de maduración del modelo usado en el argumento analizado el argumento también queda valorado en 3 puntos según la rúbrica de la tabla 3.2 del apartado de Metodología. Aunque el profesor aporta elementos, se considera que hay el grado de autonomía que se demanda en el patrón de referencia del apartado 1b. También se le asigna 3 puntos por el grado de evolución y maduración, porque se dan la concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones mediante conexiones implícitas con el conocimiento básico. Por eso la valoración de 6 puntos sobre el total de 8 que se contempla como máximo en la rúbrica de la figura 3.2.

4.1.3.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

La cuarta cuestión que generó con su respuesta parte del discurso analizado en este primer caso es: *explica las razones por las que los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos.*

4.1.3.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuarta cuestión

En ese extracto que se categoriza en la figura 4.1.12 los estudiantes del grupo (Agustín, Alfonso, Álvaro y Antonio) participaron en la discusión sobre la comparación de la fertilidad del abonado tradicional con estiércol y el abonado con fertilizantes inorgánicos. En esa discusión no interviene el profesor.

El discurso de este cuarto evento, contenido en la figura 4.1.12, contiene la argumentación de los alumnos comparando las virtudes para la fertilidad del suelo del uso tradicional en Galicia del estiércol obtenido en camas de vacuno, en relación al uso de fertilizantes inorgánicos propios de la agricultura actual intensiva, cuyo abuso vinculado en muchos casos a malas prácticas de riego, afectan a la sostenibilidad del suelo como recurso no renovable y a la eutrofización del agua.

Antonio	<i>¿Por qué los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos?</i>	P	AG-DL
Antonio	<i>Porque los abonados con estiércol tienen más...</i>	DH	AG-EX
Álvaro	<i>Porque el estiércol es mejor que el abono</i>	DH	AG-EX
Agustín	<i>¡El abono es todo, chaval!</i>	DH	AG-EX
Antonio	<i>¿El abono no es el 5x5x5?</i>	P	AG-PR
Agustín	<i>O el 15x15x15, o el 10x10x10. Depende para que lo echas...</i>	CM	AG-EX
Álvaro	<i>¿10x10x10?</i>	P	AG-PR
Agustín	<i>El 10x10x10 es para césped, el 15x15x15 para hierba para darle de comer a las vacas y el 5x5x5 no sé para qué es.</i>	DE	AG-EX
Álvaro	<i>Para las plantas de las casas es el 4x12x8 ¿qué?</i>	P	AG-PR
Todos	<i>¡Je, je!</i>	I	-
Agustín	<i>Yo solo escuché hablar de esos ...</i>	P	AG-PR
Álvaro	<i>Para las patatas...</i>	DE	AG-EX
Álvaro	<i>Hay muchos que, en vez de poner estiércol, le ponen el abono 4x12x8 porque o 15x15x15 es muy fuerte</i>	J	AG-EX
Agustín	<i>Del 15x15x15, pero le echarán muy poco</i>	DE	AG-EX
Álvaro	<i>El 15x15x15 es el más fuerte de todos</i>	DH	AG-EX
Agustín	<i>Ya lo sé, es el nitramón</i>	A	AG-PS
Álvaro	<i>Ese vale para las raíces de los pinos. ..</i>	DE	AG-EX
Álvaro	<i>...se pone en las raíces de los pinos y crecen antes. Tú haces un agujero ...</i>	J	AG-EX
Agustín	<i>15% de N, 15% de K e 15% de P</i>	CB	AG-EX

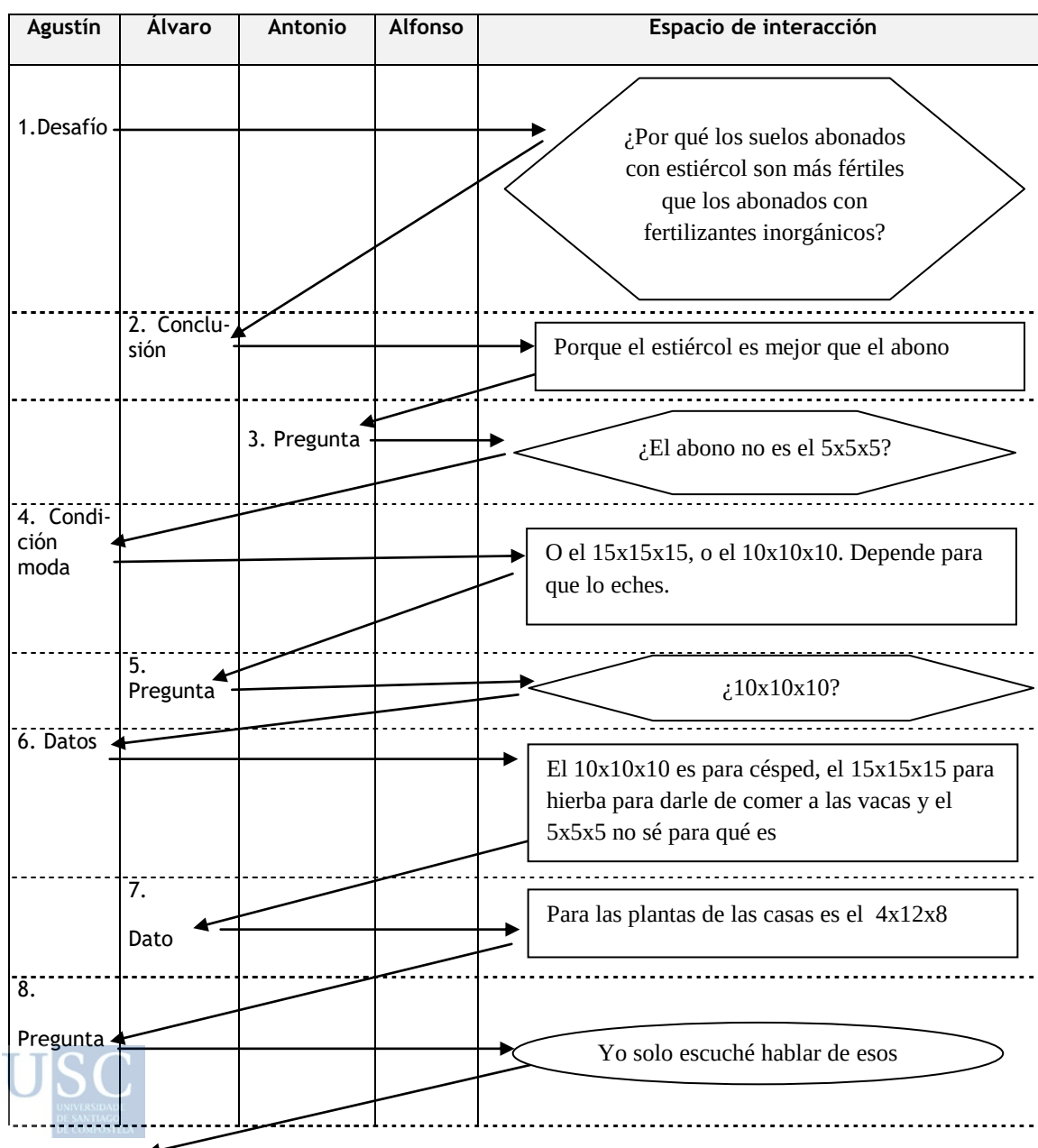
Álvaro	<i>Pones abono en el fondo y después el pino por encima</i>	DH	AG-EX
Antonio	<i>¿Pero no se pone el abono por encima?</i>	P	AG-PR
Álvaro	<i>Pero no se puede tocar la piel...</i>	DH	AG-EX
Álvaro	<i>...pues se le toca la raíz ya la quema</i>	J	AG-EX
Agustín	<i>Sí, se quema y muere</i>	A	AG-EX
Antonio	<i>Pero si lo metes en el fondo ya quemas la raíz</i>	0	AG-PS
Agustín	<i>Ponlo debajo, le pones una capa fina de tierra y le echas agua, se deshace y después de hacer todo eso, pones la planta</i>	J	AG-EX
Álvaro	<i>Sí, el pino por encima y ya está...</i>	A	AG-EX
Álvaro	<i>y ahora acabamos de hacer esto...que...nosotros no estamos a hablar aquí de los pinos</i>	I	AG-DL
Antonio	<i>Estoy viendo si crío cañas tío</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>¿Qué?, ¿qué oh?</i>	-	AG-PR
Antonio	<i>Cañas</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>¿Cañas...de esas?</i>	-	AG-PR
Antonio	<i>De bambú</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>En nuestra finca hay toneladas</i>	-	AG-FN
Álvaro	<i>Allá donde vivo yo también</i>	-	AG-FN
Antonio	<i>Tengo cinco escasas, muy pequeñas</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>Si vienes por allá chaval...deben ser de un metro o más</i>	-	AG-FN
Antonio	<i>¿Y eso es mucho, entonces?</i>	-	AG-FN
Alfonso	<i>Las hay de cuatro metros</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>Las mías, bueno las mías no, que yo no tengo, las que hay por allí son de 2 m o de 2,5 m</i>	-	AG-FN
Alfonso	<i>Allí, las que están al lado do río, hay de unos cuatro metros</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>Yo a esas no les llego</i>	-	AG-FN
Antonio	<i>En el río es donde se crían porque hay agua</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>Tiene que haber cerca agua, sino...</i>	-	AG-FN
Agustín	<i>Bueno, venga, trabajando.....Fertilizantes inorgánicos</i>	I	AG-DL
Álvaro	<i>Yo lo puse así, ... porque el estiércol...</i>	J	AG-EX
Austin	<i>Es más bueno que el...</i>	J	AG-EX
Agustín	<i>Vamos a ver...vamos a averiguar aquí, no lo pondrá aquí (lee la hoja del dossier)</i>	C	AG-DL

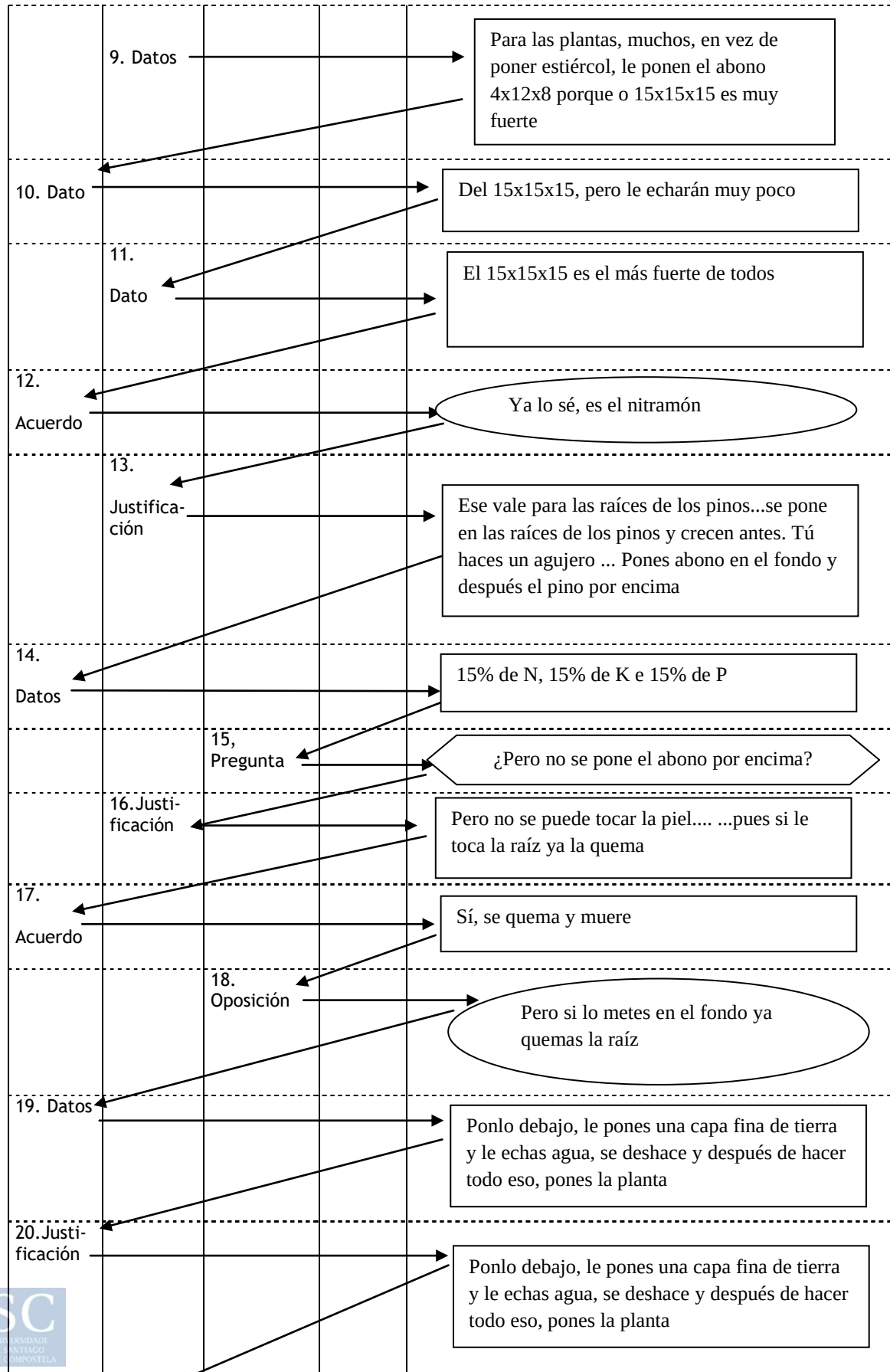
Antonio	Porque tienen más componentes químicos y, ... abonan más la planta, más el suelo...	J	AG-EX

Figura 4.1.12. Transcripción del extracto de la respuesta a la cuestión 4: ¿Por qué los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos?

4.1.3.4.2 Resultados del flujo de discurso

El **flujo del discurso** se representa en la figura 4.1.13 en forma de “mapa de discurso” que expresa el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implicado en el discurso del equipo A cuando argumentan para responder a la pregunta ¿por qué los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos?





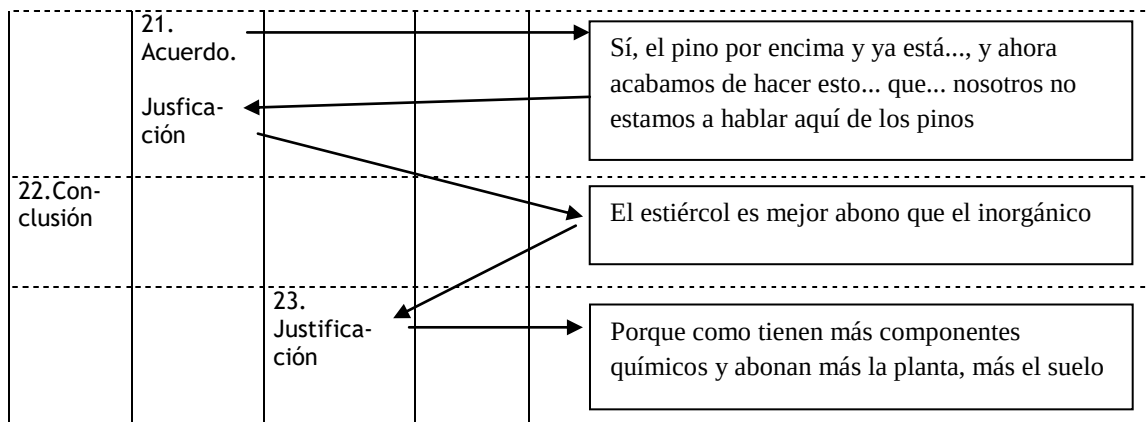


Figura 4.1.13. Mapa del discurso del extracto 3, generado durante las respuestas colaborativas de los cuatro alumnos del grupo sin la intervención del docente, a la pregunta: ¿Por qué los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos?

El mapa del discurso representado en la figura 4.1.13 no incluye la parte de la conversación relativa al cultivo de cañas de pescar, porque es una parte que está fuera del discurso relacionado con la argumentación, aunque se transcribió e incorporó en la secuencia recogida en la figura 4.1.12 porque aunque la atención se descentra de la tarea, este tema diferente es muy probable que surja en base a la experiencia del alumnado en el abonado de este cultivo en concreto, lo que puede ser un buen indicador del contexto de cognición situada en el que se pudo desarrollar esta argumentación. Se trata de un tema derivado de la conversación del abonado porque los estudiantes son de una zona rural en la que se construyen cañas tradicionales para la pesca de la trucha para lo que se cultiva bambú. Las relaciones de este cultivo con la temática de la fertilidad abordada, junto con el interés de Antonio en este tema, apartaron el discurso de la tarea. Alfonso solo intervino en esa conversación que no queda centrada en la argumentación relativa a la pregunta, pero si esta se considera integrada se podría considerar una secuencia colaborativa (Hogan et al., 2020). En todo caso se trata de un patrón más completo que el de la secuencia receptiva porque tres estudiantes aportan contribuciones sustantivas. También se consigue la secuencia de discurso más extensa y completa del caso 1 lo que pone en valor la importancia de argumentar sobre experiencias vitales y cotidianas de los estudiantes. Los detalles que aportan sobre el tipo de abono e incluso sus justificaciones, son de importante rigor agronómico.

El diagrama del discurso de patrón colaborativo expresa el conocimiento detallado que tienen los alumnos sobre los tipos de abonos inorgánicos y sus diferentes usos. Como en los tres episodios anteriores Agustín y Álvaro destacan por su implicación, aportación de conocimiento y liderazgo de sus alumnos, por lo que se sitúa el patrón de la secuencia en la categoría receptiva. Demuestran conocer los efectos negativos de los abonos concentrados sobre las raíces, pero en ningún momento hacen referencia al impacto sobre la contaminación del agua.

4.1.3.4.3 Elementos, conexiones y relaciones internas de la argumentación y sus posibles relaciones con el proceso de modelización.

En este análisis del cuarto extracto también se siguió la metodología de carácter general aplicada a todos los casos, que consistió en categorizar los argumentos de acuerdo con

las categorías de Toulmin (figura 4.1.12). De esta forma se aborda el análisis de la estructura a través de la representación de las relaciones clave entre los principales elementos del discurso mediante esquemas de Toulmin (figura 4.1.14).

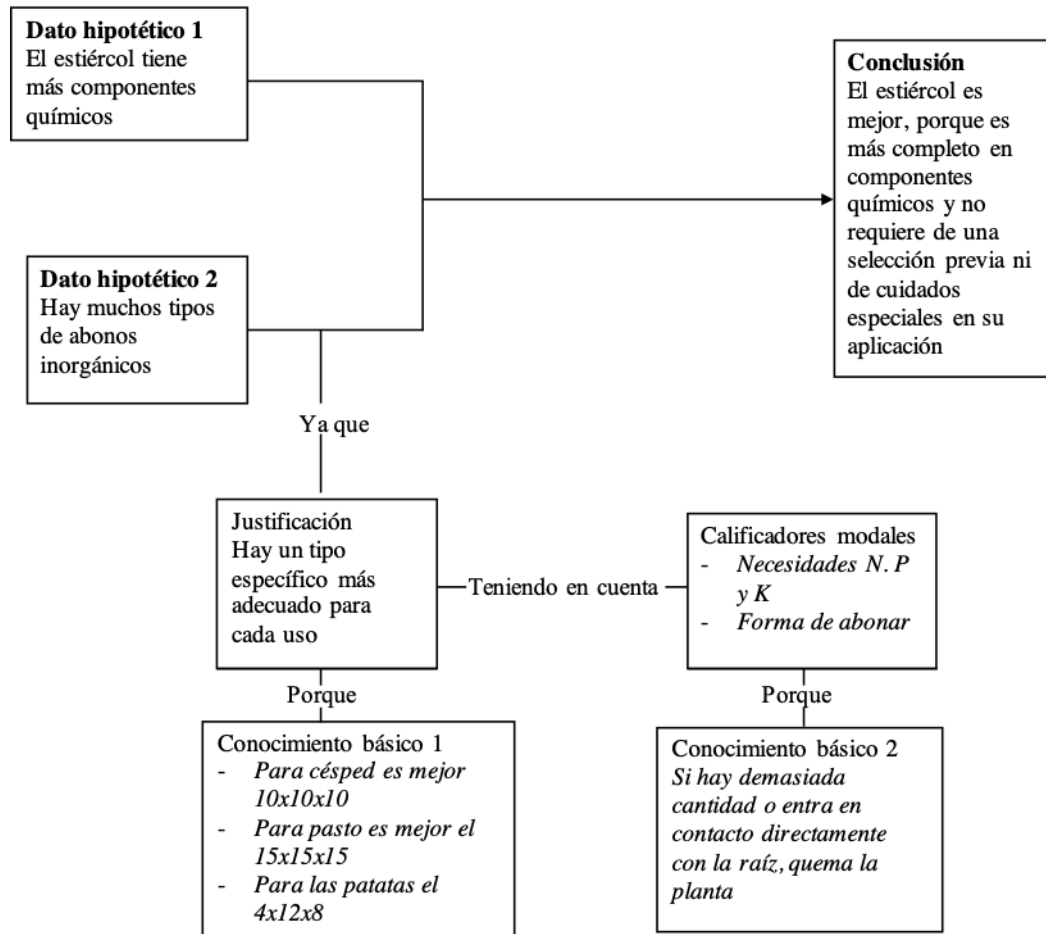


Figura 4.1.14 Representación en esquema de Toulmin del correspondiente al extracto nº 4 que resume la argumentación de la respuesta al ítem: *explica las razones por las que los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos*

Este argumento es el más complejo de los cuatro analizados y, a su vez, la conclusión la más indirecta y menos convincente para el grupo. De hecho, una vez formulada, se vuelve a retomar la discusión a partir de la oposición de Agustín, aunque en este nuevo intento no se llega a ninguna otra conclusión, por lo que ya no se presenta la transcripción.

Los datos hipotéticos iniciales los aporta Antonio: "...los abonados con estiércol tienen más..." y también Agustín cuando indica los diferentes tipos de abonos inorgánicos que completa más adelante señalando la utilidad de cada uno.

Este argumento presenta dos diferencias claras con respecto a los anteriores. Primero, la utilización de justificaciones y datos empíricos obtenidos a partir de la experiencia vital de los alumnos, pues todos proceden de entornos familiares en los que las actividades agrícolas y ganaderas tienen un protagonismo importante en las economías familiares. La segunda consiste en la divergencia del discurso hacia temas relacionados, pero sin entrar en el

argumento. Así Antonio deriva la conversación hacia el cultivo de bambú cuando comenta *“estoy viendo si crío cañas tío”*

Estas activaciones del conocimiento vivencial a partir de un ítem que persigue unas conclusiones semejantes a las del conocimiento científico formal, son muy interesantes, pues enriquece la argumentación provocando la aparición de muchas justificaciones y datos empíricos que afianzan y consolidan las conclusiones, aunque muchas veces pueda parecer que las conclusiones no son demasiado definitorias ni taxativas.

En el evento recogido en la figura 4.1.12, los cuatro miembros del grupo (Agustín, Alfonso, Álvaro y Antonio) participaron en la discusión sobre por qué los suelos fertilizados con estiércol son más fértiles que los fertilizados con fertilizantes orgánicos, pero solo argumentan en la línea de la respuesta que demanda la pregunta Agustín, Álvaro y Antonio. En este evento, los alumnos discutieron entre sí sin la presencia del profesor.

El argumento contenido en el diagrama del discurso representado en la figura 4.1.13 y esquematizado siguiendo a Toulmin en la 4.1.14, según el discurso categorizado en la figura 4.1.12, tiene una conclusión bastante indirecta y no parece muy convincente para el grupo, porque sus componentes parecen no tener un modelo que integre la meteorización química, como se evidenció en los análisis de las secuencias correspondientes a las respuestas de las otras tres cuestiones. De hecho, el grupo volvió a discutir el tema porque Agustín no está seguro de la conclusión. Las primeras garantías fueron proporcionadas por Antonio, quien dijo que *“los que están fertilizados con estiércol tienen más”* y por Agustín, que enumera los diferentes tipos de fertilizantes inorgánicos en una declaración que completa cuando describe los usos de cada uno. Pero en este caso suplen la falta de la alteración química de materia orgánica para generar sales minerales con un conocimiento técnico de detalle y rigor de los sistemas de abonado inorgánico.

Este argumento muestra dos diferencias claras en relación con las anteriores. Primero, en el uso de justificaciones y respaldos obtenidos de las propias experiencias de los alumnos. Todos ellos provienen de familias en las que las actividades agrícolas y ganaderas tienen un significado económico, lo que los sitúa en un contexto de aprendizaje situado. En segundo lugar, la discusión divergió a temas no relacionados, que no estaban involucrados en el argumento. A modo de ejemplo, Antonio dirigió la conversación hacia el cultivo del bambú cuando comentó *“Voy a ver si puedo cultivar algunas cañas”*.

La explicación de estas divergencias también radica en la relación entre la argumentación y las propias experiencias y creencias de los estudiantes. El evento correspondiente a la respuesta a la cuestión 4 puede servir como ejemplo de cómo se activan las experiencias extracurriculares en el discurso. Los argumentos se basan en el conocimiento que no se adquirió en la escuela y este conocimiento se establece como una fuente legítima de nuevos conocimientos (Candela, 1998). Aquí parece faltar la acción mediadora del docente para relacionar el conocimiento cotidiano y el conocimiento de la ciencia escolar y ayudar a estructurar las ideas. También vemos cómo, al final, los estudiantes intentan probar la validez de sus ideas buscando información en el expediente.

La valoración de la calidad del argumento siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 se le otorga por el apartado de hechos 3 puntos dado que parten de datos empíricos obtenidos mediante sus observaciones experimentales en los cultivos. Por el apartado de justificaciones se le otorga 2 puntos siguiendo lo establecido en 2b porque se consideran una concordancia

aceptable entre los hechos utilizando conexiones implícitas con el conocimiento básico del papel de las sales minerales en la productividad vegetal, que no llega a formularse en los términos correctos y oportunos para el conocimiento agronómico. Por eso también se le asigna la puntuación de 2 puntos porque del enunciado se deduce un apoyo agronómico acertado, aunque no explícita con la claridad y propiedad necesaria porque el estiércol es mejor abono que el inorgánico. Por eso la calidad del argumento queda reflejada en la valoración de 7 puntos sobre el total de 9 que se puede obtener como máximo con la aplicación de la rúbrica de la tabla 3.1.

4.1.3.4.4 Valoración de los modelos co-construídos e implicaciones didácticas

En la valoración del modelo que se usa aquí de acuerdo con la rúbrica expresada en la tabla 3.2 del apartado de Metodología tiene una clara asimetría: en relación a la tipología del abonado inorgánico tienen un modelo sólido basado en la experiencia vital, pero parecen desconocer la fundamentación del abonado consistente en la liberación de sales minerales por lo que no logran llegar a una conclusión suficientemente bien formulada. Sin embargo, el valor del conocimiento del abonado posiciona a este modelo como el más satisfactorio de los aplicados en este caso, otorgándolo los seis (5) puntos de esta forma:

- a) Iniciativa, autonomía y rigor: 1b. Expresan en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y/o riguroso, pero comprensible y coherente con el modelo conceptual: 3 puntos.
- b) Evolución y madurez: 2c. La argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado, pero sin la consistencia suficiente para ser adoptado por la ciencia escolar: 2 puntos.

Aplicando el método de modelización recogido en la figura 3.10 de la Metodología, se identifica claramente un evento de modelización. Usan analogías, símiles y ejemplos que proceden del abonado inorgánico de cultivos concretos en su entorno concreto. Ejemplifican bien la eficacia de este abonado, pero también los efectos nocivos que se pueden dar en contacto directo con células de concentraciones muy elevadas. El grado de acuerdo es alto porque explican contextos familiares para ellos de forma coherente. Se trata de un modelo expresado en base a ejemplificaciones cotidianas que tiene nivel de coherencia suficiente para abordar el fundamento técnico del abonado inorgánico. Pero presenta como límites la falta de la incorporación de las transformaciones químicas que llevan a la mineralización de la materia orgánica y la necesidad de las sales minerales inorgánicas en la nutrición vegetal. Por eso aunque las analogías y ejemplos sobre el abonado son relevantes para su uso en procesos de enseñanza y aprendizaje sobre la importancia ambiental del abonado, interesa completar el modelo a través de un andamiaje que permita que los modelos escolares necesarios para orientar la evolución de los modelos mentales de los estudiantes de secundaria hacia su potencial en la interpretación de las consecuencias del uso y abuso de los abonos químicos y la importancia del abonado orgánico en la agricultura ecológica.

4.1.4 Discusión conjunta y conclusiones del caso 1

La discusión conjunta de los resultados de este primer estudio caso abarca el discurso, la argumentación y la modelización orientada por el objetivo particular de investigación de analizar la co-construcción de argumentos y las interacciones en un contexto de enseñanza

aprendizaje sobre las claves de la sostenibilidad del suelo, en lo relativo a la lentitud de su formación como base para interpretar la sostenibilidad y a la importancia del abonado en su fertilidad agrícola.

Para abordar este objetivo se indaga para buscar respuestas a dos sub-preguntas particulares para el análisis y discusión del primer caso:

1. ¿Cómo interaccionan los estudiantes de 15 años en trabajo autónomo en grupos de 4 para explicar la formación, no renovabilidad y fertilidad del suelo?
2. ¿Cómo co-argumentan los estudiantes de 15 años sobre la no renovabilidad del suelo y su fertilidad fundamentadas en el proceso de formación?

En relación a la primera sub-pregunta particular del caso hay que destacar que en el análisis se observa una modificación del rol tradicional del docente que deja el protagonismo de la modelización a la co-construcción de argumentos por parte de los estudiantes, situándose él como un orientador y apoyo a los estudiantes cuando demandan su intervención. El profesor abandona el rol tradicional de trasmisor de la información y director de las discusiones (Berland y Hammer, 2009) a favor de posibilitar y estimular la co-construcción de argumentos por parte de los estudiantes. Este cambio de rol que evidencian los resultados de este caso es coherente con la teoría de la enseñanza socio-constructivista y dialógica, según la cual las interacciones entre compañeros deben fomentarse, ya que es la mejor manera de articular, activar y revisar ideas, y de construir y reconstruir el conocimiento (por ejemplo: Alexander, 2017). El ambiente de aprendizaje creado en el aula animó a los estudiantes a razonar y discutir activamente.

De acuerdo con la primera sub-pregunta particular del caso que se refiere al tipo de interacciones que tienen lugar dentro de un grupo, el uso del marco analítico diseñado para describir las interacciones entre los estudiantes y el profesor nos permitió examinar los roles que desempeñaron durante la actividad a través de una categorización de las acciones. Los resultados muestran que los roles, desempeñados por los estudiantes y el profesor durante la discusión, fueron diferentes a los de las discusiones tradicionales en el aula. La discusión en el aula no fue dominada por el profesor, cuyo rol, en cuanto a liderazgo, era similar al de otro compañero de clase. Las notas del observador evidenciaron que, durante las conversaciones grupales, los estudiantes asumieron roles como interrogadores en la creación de significado (Cornelius y Herrenkohl, 2004).

El profesor solía hacer preguntas para obligar a los estudiantes a hacer un esfuerzo para expresar sus ideas (por ejemplo, "¿qué quiere decir que se habrían erosionado más?"). El profesor también desafió el pensamiento de los estudiantes (por ejemplo, "¿por qué habría más tierra y menos piedras?"), Y solo como último recurso proporcionó la información que los estudiantes solicitaron.

La tarea requería que los estudiantes compartieran sus pensamientos y compartieran sus conocimientos, creando así un contexto para examinar sus ideas. Los resultados revelan que las conversaciones se centraron, principalmente, en la discusión de las ideas de los alumnos. Los estudiantes pasaron la mayor parte de su tiempo a lo largo de las conversaciones explicando sus ideas o tratando de aclararlas.

Las interacciones del grupo posicionaron a los estudiantes como promotores de la reflexión. Estas interacciones fueron importantes en el desarrollo de los procesos de razonamiento del grupo (Hogan, 1999). En general el docente adoptó este rol al participar en una serie amplia de intercambios de preguntas que ayudaron a los estudiantes a articular mejor sus creencias y concepciones.

El liderazgo del papel de los promotores de la reflexión que tuvieron los estudiantes no le correspondió al docente, sino que fue gestionado por el grupo otorgando, en la mayoría del tiempo, el liderazgo a un alumno, en la mayoría de los eventos seleccionados a Agustín, aunque en otros momentos, sobre todo en el evento 2, también destacó el liderazgo y aportación de ideas de Alfonso. En todos los eventos elegidos por el valor de su argumentación el profesor permitió a los estudiantes expresar sus ideas con mayor libertad, revisándolas para enfrentar mejor los desafíos y co-construir nuevos argumentos. El discurso dialógico podría involucrar a los estudiantes trabajando juntos para comprender cualquier punto de diferencia a medida que desarrollan sus explicaciones. Esta co-construcción con el docente en un papel orientador, permitió que el acuerdo y el desacuerdo en el punto de vista de los estudiantes constituyeran una interanimación de ideas dialógica (Scott et al., 2006) facilitadora de una argumentación valiosa para los procesos de modelización.

En relación a la segunda sub-pregunta particular de este caso ¿Cómo co-argumentan los estudiantes de 15 años sobre la no renovabilidad del suelo y su fertilidad fundamentadas en el proceso de formación? en la co-construcción del argumento analizando en el evento 1 tiene un peso importante el modelo de ciencia escolar de erosión y sedimentación, que para la formación autóctona del suelo no resulta pertinente. En ese caso se están apoyando la co-construcción de la argumentación en un modelo basado en el paradigma geodinámico (Yus y Rebollo, 1993) *“el suelo como producto de la alteración de las rocas”*, aunque lo hacen desde su vertiente exclusivamente mecánica, prescindiendo de la existencia de procesos químicos (geoquímicos y bioquímicos) propios del suelo y con la incoherencia del uso de erosión por meteorización. En esta co-construcción de los argumentos que modeliza el proceso de formación del suelo tampoco se considera la intervención de la atmósfera (agentes geológicos) y a lo de los seres vivos. También se evidencian dificultades de comprensión del tiempo geológico, asociando al suelo con las rocas, y otorgándola así una conceptualización de una realidad que, al igual que las rocas, de las que procede por un simple proceso de alteración mecánica, siempre estuvo allí (Happs, 1981).

En esta co-construcción de la argumentación relativa a la formación y a la edad del suelo autóctono, se considera que se trata de una entidad que tiene un origen y ha seguido un proceso de evolución. En la argumentación de este primer evento adquiere una especial relevancia en la evolución del modelo mental porque permite justificar el hecho del que el suelo sea un recurso no renovable.

Utilizan la selección entre opciones con una evaluación que llega a la conclusión de la opción de intervalo del tiempo que consideran correcta entre las propuestas como posibles soluciones a la pregunta. En esta evaluación descartan el dato hipotético que ponen en evidencia es el que hace referencia a la edad menor (entre 1 y 100 años) y la justificación que dan es que las montañas serían mucho más picudas, aplicando el modelo no pertinente de formación del suelo a través de procesos de erosión, transporte y sedimentación. El dato hipotético de más de un millón de años lo rebaten con la justificación de que el paisaje estaría más erosionado, aplicando el mismo modelo no pertinente. El proceso de formación del suelo

se entiende como un proceso de sedimentación del material erosionado procedente de las montañas.

En esa evaluación en la co-construcción de argumentos que lleva a seleccionar para el suelo una edad inferior a la edad de las rocas, deja excluida la concepción alternativa de que son tan antiguos como la tierra, lo que aparta la argumentación co-construida de la idea estática de los procesos geológicos, y por tanto también de la edafogénesis que señalan autores como Álvarez y García (1996), Pedrinaci (1996) y Libarkin et al. (2005).

Los procesos de co-construcción de argumentos posibilitan que las interacciones en esa co-construcción hagan evolucionar modelos alternativos hacia modelos más válidos para la ciencia escolar por ser más coherentes con los modelos científicos. Esto se evidencia en el evento 2 en la construcción parte de la alternativa de una supuesta formación del suelo autóctona a partir de la roca madre en el que participa únicamente la erosión. Alfonso no parece satisfecho con un modelo de formación del suelo únicamente por erosión, y en su oposición parece expresar una representación mental implícita más próxima a la participación de la meteorización en la formación del suelo con la expresión *“donde no hay no se puede sacar”*. Esta oposición justificada parece contener, a nivel implícito, la idea de que las partículas permanecen in situ, haciendo avanzar así el modelo mental inicial que se sitúa el origen del suelo por la erosión de la roca madre que implica su inmediato transporte a otros lugares donde se formaría el suelo. En todo caso los procesos químicos en la formación y evolución del suelo no aparecen en la co-construcción de argumentos sobre la formación y evolución del suelo, y estos procesos químicos son muy relevantes para la comprensión de la necesidad de una gestión sostenible de este recurso no renovable. Queda por tanto obviado los cambios que atribuyen a ese modelo escolar de ciencias del suelo que describen Fernández et al. (2017) relativos a la alteración química de los fragmentos de la roca madre sobre los que, al asentarse los primeros organismos vivos, entre ellos líquenes, tiene lugar el inicio de la meteorización biológica.

En base a lo expuesto en el párrafo anterior, en cierta manera se puede inferir que Alfonso no está satisfecho con el modelo simplista de la meteorización física como único proceso. Puede que sea esa insatisfacción la que le lleve a intentar ampliar el conocimiento del modelo al aludir al proceso de consolidación del magma en la formación de una roca, usando para ello un modelo más amplio vinculado al ciclo de las rocas.

La argumentación del evento 2 muestra el uso de conocimiento intuitivo y cotidiano a la predicción y control de los fenómenos implicados en la co-construcción de argumentos sobre la formación del suelo, abordando estos procesos desde modelos contruidos a partir de sus observaciones de los fenómenos cotidianos. Así se puede explicar la interpretación de procesos que ocurren en tiempos geológicos desde concepciones y representaciones que están únicamente mediadas por nuestros sentidos en su experiencia vital, quedando la evolución del modelo mental estructurado desde una concepción continua de la materia (Driver et al., 1994; Pozo et al., 1999) que lleva a interpretar la aparición del suelo como una simple disgregación de la roca madre. Esta argumentación mediada por una representación continua de la materia que muestran nuestros sentidos lleva a la percepción del cambio solo por el proceso físico de disgregación. Para interpretar la relevancia de la formación del suelo en la sostenibilidad de este recurso no renovable requiere de modelos discontinuos del suelo en el que sus partículas son susceptibles de participar en reacciones químicas, claves en su formación, evolución y sostenibilidad.

En el evento 3 los estudiantes se encuentran dificultades para comprender los factores que inciden en la formación del suelo, por lo que recurren a la lectura detallada del dossier en la co-construcción de la argumentación sobre los factores que influyen en la formación del suelo también aparecen dificultades de comprensión de la incidencia de esos factores sobre la meteorización y no se entra a justificar como los elementos del clima y ni en como los seres vivos inciden en la formación del suelo.

En el evento 4, es interesante observar que los estudiantes establecieron conexiones entre el contenido de la tarea y su conocimiento cotidiano, en este caso sobre el uso de fertilizantes, con un amplio conocimiento de los diferentes tipos de abonos y de sus usos. Se debe considerar que estos estudiantes provienen de un entorno rural, por lo que tienen un amplio conocimiento sobre los diferentes tipos de fertilizantes y cómo usarlos.

De lo argumentado en el evento 4 se visualiza el impulso de los procesos de argumentación y modelización que se dan en los contextos de cognición situada relativos a experiencias vitales y cotidianas, como es el abonado en una zona agrícola. La capacidad de interpretación que aportan estos tipos de contextos de cognición situada se demuestra en la facilidad para argumentar sobre los efectos negativos de los abonos concentrados sobre las raíces. Esta capacidad de interpretación basada en datos y evidencias se pierde cuando se busca interpretar la relación de esos abonados excesivos sobre la contaminación del agua, porque los estudiantes no tienen observaciones ni representaciones implícitas de los efectos de los abonos sobre la eutrofización de aguas continentales. La co-construcción de la argumentación de este evento permite concluir que las experiencias vitales aportan justificaciones y datos empíricos obtenidos a partir de la experiencia vital de los alumnos, pues todos proceden de entornos familiares en los que las actividades agrícolas y ganaderas tienen un protagonismo importante en las economías familiares. También permite concluir que en estos contextos de cognición situada la co-construcción de la argumentación facilita la divergencia del discurso hacia temas relacionados, interesantes como ocurrió con la oportunidad generada por el comentario sobre el cultivo de las cañas que permiten interpretar la importancia de la adaptación de especies vegetales a determinados factores ambientales.

Por lo tanto, los estudiantes hicieron contribuciones sustanciales al tema en discusión, aunque estas contribuciones no ayudaran en la construcción de un argumento más sofisticado. Los estudiantes participaron en la tarea y en las interacciones alumno-alumno que involucraron a un estudiante que trataba de entender el pensamiento de otro, pero el diálogo no fue productivo.

Tal como señalaron Engle y Conant (2002) a veces el diálogo no constituye una mejora en la calidad y sofisticación de los argumentos, y el desarrollo de nuevas ideas y la comprensión disciplinaria. Quizás, si el profesor hubiera estado presente, podría haber ayudado a estructurar el discurso para construir argumentos más sofisticados.

Como se mencionó anteriormente, parece haber un consenso sobre la importancia del discurso dialógico, ya que este enfoque comunicativo brinda la oportunidad de construir y evaluar argumentos, relacionar conclusiones con evidencias y construir explicaciones y contraargumentos (Kelly et al., 2001).



Sin embargo, hay autores que señalan la importancia de establecer una tensión entre el discurso dialógico y el discurso autoritario, entendiendo este último como un discurso que se

centra más en el contenido desde la perspectiva de la disciplina, de modo que sea más efectivo para ayudar a los estudiantes en la construcción de ciertas ideas.

En el evento 3 el profesor es demandado por los estudiantes para que les ayude a articular las ideas cuyas relaciones se le resiste. En el evento 4, hay un bajo nivel de articulación de ideas, lo que Scott et al. (2006) le llaman de baja interanimación de ideas y los alumnos no demandan la presencia del docente porque están en un marco conceptual que ellos sienten próximo a sus vivencias.

El discurso es dialógico a medida que se señalan diferentes ideas, pero no se intenta trabajar en estas opiniones a través contrastarlas y compararlas. Scott et al. (2006) señalan que los cambios en los enfoques comunicativos son esenciales para que los estudiantes aprendan ciencias de una manera significativa. Sin embargo, consideran que, en una secuencia de enseñanza en la que se introducen nuevas ideas, debe haber una tensión entre las intervenciones dialógicas y autorizadas centradas en la visión científica.

Con respecto a la argumentación, el análisis de la discusión utilizando el esquema de Toulmin nos permitió identificar los argumentos y evaluar la complejidad de la argumentación. Los respaldos utilizados por los estudiantes nos dan una idea de la complejidad y la adecuación de sus modelos, que construyen a lo largo de la discusión. Por ejemplo, en el primer evento, los estudiantes usaron el término erosión para referirse al proceso por el cual se forma el suelo. La idea detrás de su conversación parece ser que el suelo está formado por la ruptura de las rocas de las montañas. Luego, el material resultante se transporta y sufre sedimentación, de modo que con el tiempo todo se vuelve más plano. Estas ideas son similares a las descritas por John Happs (1981) en un estudio sobre la comprensión del suelo de los estudiantes, y Fernández et al. (2017) en un estudio más reciente realizado con estudiantes de 15 y 16 años.

Es interesante comparar las definiciones científicamente aceptadas de los términos erosión y meteorización con los significados utilizados por los estudiantes. En la literatura, la meteorización se refiere a la descomposición química, física o biológica de las rocas in situ, cerca o en la superficie. La erosión se define como cualquiera de los procesos por los cuales los residuos o el material rocoso se aflojan o se disuelven y se eliminan de cualquier parte de la superficie de la Tierra, e incluyen la meteorización, la solución, la corrosión y el transporte (Dove, 1997). Dove (1997) señala que la mayoría de los estudiantes apreciaron que la meteorización ocurre in situ, mientras que la erosión implica el movimiento del agente y el material que transporta. En el evento 2, el término erosión se usa una vez más para describir cómo se rompe la roca para formar arena y suelo. En este evento, la discusión muestra la dificultad que tuvieron los estudiantes para aceptar la idea de que los suelos pueden formarse in situ.

Del análisis de la modelización sobre los factores de formación del suelo se llega a la conclusión de los estudiantes no perciben el suelo como algo dinámico ni tienen en cuenta las interrelaciones entre sus componentes, llamando especialmente la atención que no tengan presente la existencia de organismos responsables de la descomposición de la materia orgánica, fundamental en la edafogénesis. Se intuye, en base a la alusión a la erosión de las montañas, que pueden estar relacionando la formación del suelo con el paso del tiempo con el proceso de sedimentación, lo que podría ir en la línea de la asociación de los horizontes del suelo con los estratos sedimentarios que encontraron Yus y Rebollo (1993).

Se ha señalado (Keys, 1997) que el tipo de argumentos contruidos por los estudiantes depende de sus teorías personales con respecto a temas científicos. Sin embargo, hay temas en los que aún no han pensado, por lo que están activando ideas mientras construyen argumentos, que provienen de sus propias teorías personales basadas en el conocimiento ya proporcionado sobre otros temas, el conocimiento de su propia experiencia diaria y las ideas que surgen y se consolidan durante la discusión de la actividad. En el evento 4, los alumnos se referían con frecuencia a sus experiencias personales durante la argumentación. Por lo tanto, la discusión se enriqueció con el conocimiento de los alumnos, obtenido de sus vidas en un entorno rural.

Con respecto a la segunda sub-pregunta particular del caso que se refiere a la co-construcción de argumentos, este estudio muestra la participación de los estudiantes en el proceso de construcción de conocimiento durante la discusión en el aula, y analiza cómo los estudiantes debaten y discuten, y cómo esto puede contribuir o dificultar los procesos de construcción y legitimación del conocimiento (Candela 1998). Los resultados muestran que la construcción discursiva no siempre evoluciona hacia significados compartidos. Tal es el caso en el evento 2, donde un solo estudiante proporcionó ideas sustanciales, o en el evento 3, donde se construyeron argumentos en paralelo. Como establecen Yun et al. (2015), las discusiones grupales tienden a estar dominadas por los estudiantes más abiertos y aventajados, por lo que los estudiantes de mayor nivel generalmente hacen más contribuciones durante el proceso de construcción de argumentos, y se benefician aún más de la adquisición del conocimiento.

Al analizar los argumentos, podemos ver que la interacción discursiva no es de la misma calidad en todos los casos. En el primer evento, los estudiantes pueden activar su conocimiento haciéndolo explícito, discutiendo ideas y co-construyendo argumentos. En el segundo evento, hay menos interacción entre sus ideas, y solo un estudiante construye el argumento. Sin embargo, es importante resaltar el papel desempeñado por Alfonso, quien continuamente desafió las ideas de su compañero Agustín, ayudando a profundizar el conocimiento. En el tercer evento, hubo más intervenciones, pero menos interacción entre las ideas, o lo que Scott et al. (2006) llaman un nivel más bajo de interanimación, por lo que se construyeron argumentos en paralelo (por ejemplo, Hogan 1999). Los estudiantes necesitan por primera vez en el caso la intervención docente. También hay mucha participación en el evento 4, que motiva a los alumnos al abordar el abonado del suelo, un ámbito que les resulta familiar por ser estudiantes de un entorno rural agrícola.

4.1.5 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación

Hoy en día es muy importante que los estudiantes desarrollen habilidades argumentativas. Para ejercer estas habilidades, los estudiantes deben tener la oportunidad de aprender cómo estructurar sus propias ideas y analizar sus opiniones y las de los demás.

El discurso científico debe mostrar claridad de argumentación, precisión en la distinción entre los diversos factores que pueden ser relevantes para los fenómenos discutidos y coherencia de los hechos. Estas cualidades deben ser desarrolladas por los estudiantes durante su formación científica.

Esto se aplica a todos los estudiantes, no solo a los que pretenden seguir una carrera científica, porque los ciudadanos de hoy en día están continuamente llamados a tener opiniones sobre asuntos de interés público o privado, que se basarán en los informes o declaraciones de científicos profesionales.

Se necesita más investigación para aclarar cuál debe ser el rol del docente en diferentes momentos de las actividades para ser más efectivos en ayudar a los estudiantes a participar en discursos de mayor calidad, de modo que haya oportunidades para articular ideas y evolucionar las ideas de los estudiantes hacia ideas más sofisticadas y de acuerdo con ideas científicas.

Teniendo presente la metodología, debe quedar claro que no se busca generalizar los resultados a otros casos debido a la naturaleza cualitativa de la investigación que involucra una pequeña muestra.

Sin embargo, este estudio permite comparaciones con otros estudios de naturaleza similar, contribuyendo al conocimiento de cómo los estudiantes construyen conjuntamente los argumentos relacionados con la ciencia del suelo y qué tipos de interacciones se desarrollan.

Además, otra de las fortalezas del trabajo es el desarrollo de la red sistémica para el análisis de las interacciones. Esperamos que este documento relacionado con la implementación y el análisis del discurso en el aula anime a otros maestros a cambiar los patrones de conversación en sus aulas para ofrecer buenas oportunidades para la argumentación.

Los primeros resultados de este estudio permiten afirmar que el ambiente de aprendizaje que se genera con estas tareas posibilita el que los estudiantes razonen y argumenten en términos científicos. Nuestras observaciones revelan que la conversación se ha enfocado predominantemente en la discusión de ideas científicas.

Los argumentos de los estudiantes se refieren con frecuencia a su experiencia personal, probablemente esto se ve facilitado por el ambiente de aprendizaje que se genera en situaciones abiertas.

El papel que ejercen los estudiantes y el profesor en la clase fue diferente al de las clases tradicionales. Además, el discurso en el aula no fue dominado por el profesor lo que ha permitido una discusión enriquecida por la aportación de los conocimientos de los estudiantes generados por sus vivencias en un medio rural. Esta cognición situada permite visualizar en la argumentación representaciones mentales con potencial didáctico para poder relacionar el clima con la presencia de determinados seres vivos, lo que puede actuar de facilitador para la evolución de los modelos propios de la edafogénesis para la relacionar el cambio climático con potenciales impactos en la adaptación de los seres vivos de la zona donde viven.

Desde el punto de vista de las nuevas propuestas de enseñar y aprender sobre la importancia del cambio climático en nuestras vidas, la modelización que muestra este discurso resulta prometedora para la génesis de nuevas representaciones mentales sobre la importancia de los impactos del cambio climático sobre el suelo y las consecuencias que esto puede tener sobre la adaptación de los seres vivos, la agricultura y la economía del lugar donde viven. Por eso resulta interesante extraer estrategias para el desarrollo de las capacidades de argumentación abiertas por los estudiantes con potencial para desarrollar

procesos de modelización sobre impactos del cambio climático en el entorno en el que viven. En esta dirección destaca la línea de argumentación que se abrió en la conversación sobre el cultivo de cañas del cultivo sobre la importancia de la humedad para el cultivo de bambú. Este tipo de repercusiones de elementos del clima sobre los seres vivos, se muestran como una oportunidad para establecer en la educación científica de la secundaria básica estrategias de argumentación que permitan entender las consecuencias de la intensificación del calentamiento de la superficie terrestre, por sus posibles implicaciones en la desertificación, y por la tanto sus riesgos potenciales sobre la seguridad alimentaria. Este tipo de estrategias de argumentación son prometedoras para la transferencia didáctica de los contenidos expresados en el informe IPCC Special Report 2019, por cuanto a que advierte, con claridad y urgencia, del riesgo de que el cambio climático llegue a impactar en los ecosistemas terrestres, a través de los procesos de desertificación pudiendo llegar a poner en serio riesgo la seguridad alimentaria planetaria. Por eso interesa que los estudiantes relacionen la enorme lentitud del proceso de edafogénesis, con la participación en la evolución de los suelos de la interacción de factores como el clima y los seres vivos, para que desde este enfoque se pueda interpretar la preocupación por los impactos del cambio climático sobre la sostenibilidad de los usos del suelo.

4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 2: ARGUMENTACIÓN Y MODELIZACIÓN SOBRE LA RELACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL SUELO CON SUS RESPUESTAS A SEQUÍAS E INUNDACIONES DERIVADAS DE EVENTOS EXTREMOS.

4.2.1 Introducción

En este segundo sub-epígrafe del capítulo de resultados se recoge los resultados y su discusión extraídos de la argumentación a lo largo de 80 minutos (dos sesiones de clase) del discurso de estudiantes y profesor durante la puesta en práctica de una unidad didáctica de Ciencias del suelo, programada para estudiantes de 3º de la ESO (de edades de 14 – 15 años). Se trata del mismo equipo de cuatro estudiantes del caso 1 quienes generan el discurso para dar respuesta a las tres cuestiones implicadas en este estudio de caso. Lo hacen respondiendo a las preguntas y evidencias experimentales que buscan relacionar la estructura del suelo con los impactos del cambio climático sobre el suelo debido a sequías e inundaciones:

1. ¿Por qué los suelos graníticos arenosos gallegos, si no son de regadío, secan en el verano?
2. ¿Por qué los suelos arcillosos presentan grietas en verano y se encharcan en invierno?
3. ¿Existe alguna relación entre los distintos colores del agua filtrada y las diferentes capacidades de retención de la arcilla, del humus y de la arena? (en el contexto una práctica de laboratorio).

Para la obtención y análisis de los resultados se identificaron eventos que impliquen un proceso de modelización a través de estrategias de argumentación sobre la influencia de las sequías e inundaciones sobre la fertilidad del suelo. Cuando en la argumentación se incluye modelos muy complejos, se introducen también en el análisis del discurso puestas en común de los diferentes grupos que aumenten los referentes deseables sobre los patrones de argumentación y modelización. Ese discurso transcrito, una vez categorizado, permitió obtener los mapas del discurso inspirados en Hogan et al. (2000) y la representación de los

argumentos mediante los esquemas de Toulmin (1958). Para la valoración de la validez de los argumentos se utiliza la rúbrica de la tabla 3.1. Desde estos resultados se aborda la modelización siguiendo el método, con adaptaciones de Gutierrez (2004) y Justi (2006), expresado en la figura 3.10 y cuantificando esta modelización con la rúbrica de la tabla 3.2 del apartado de Metodología.

Los resultados se obtuvieron buscando respuestas a las dos sub-preguntas particulares de este estudio de caso:

1. ¿Cómo se relaciona la composición y estructura del suelo con los efectos del cambio climático (CC) sobre el suelo?
2. ¿Qué modelos relacionan la fertilidad del suelo con el cambio climático (CC)?

Los resultados obtenidos y analizados en la búsqueda de las respuestas a estas preguntas sugieren que el aprendizaje que se genera en estas situaciones es satisfactorio, significativo y motivador. Esto es así porque desde problemas auténticos en contextos de cognición situada en entornos agrícolas como los de estos estudiantes, se consiguen avances relevantes en la maduración de modelos mentales útiles para explicar las consecuencias de las inundaciones y sequías sobre la fertilidad de los suelos que demanda la comprensión y correspondiente sensibilización sobre el contenido del informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

4.2.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.2.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.2.1 recoge los resultados obtenidos del análisis y categorización del discurso relativo a la respuesta a la primera cuestión: “¿Por qué los suelos graníticos arenosos gallegos, si no son de regadío, secan en el verano?”.

Agustín	<i>¡A ver! ¿Por qué los suelos arenosos gallegos, si no son de regadío secan en el verano?</i>	Desafío	AG-DL
Alonso	<i>Porque la arena no retiene el agua</i>	Justificación	AG-EX
Álvaro	<i>Porque la arena no retiene el agua...se le marcha</i>	Acuerdo	AG-EX
Agustín	<i>Non retiene el agua...</i>	Acuerdo	AG-PS
Álvaro	<i>Se le marcha</i>	Acuerdo	AG-PS
Agustín	<i>Porque la arena deja huecos por los que circula el agua con facilidad. Yo lo puse así, pero ponlo como quieras</i>	Conocimiento básico	AG-EX
Alonso	<i>¡Eh, aquí ya está diciendo cual es el mejor terreno para el cultivo!</i>	Conclusión	AG-PS
Agustín	<i>Aquí, 40,20,40</i>	Datos suministrados	AG-EX
Alonso	<i>Ya casi lo tenemos</i>	Desafío	AG-PS
Agustín	<i>¿Eh?</i>	No codificable	AG-AI

Alonso	<i>El terreno que sea más o menos así es el que vale para la escuela esa...para la agricultura esa...</i>	Conclusión	AG-EX

Figura 4.2.1. Categorización de la argumentación y de las interacciones en los turnos de intervención en el primer evento de interés (primera parte de la cuestión 1).

4.2.2.2 Mapa del discurso de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.2.2 se representa, en forma de “mapa de discurso”, el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implícito en este primer evento de interés.

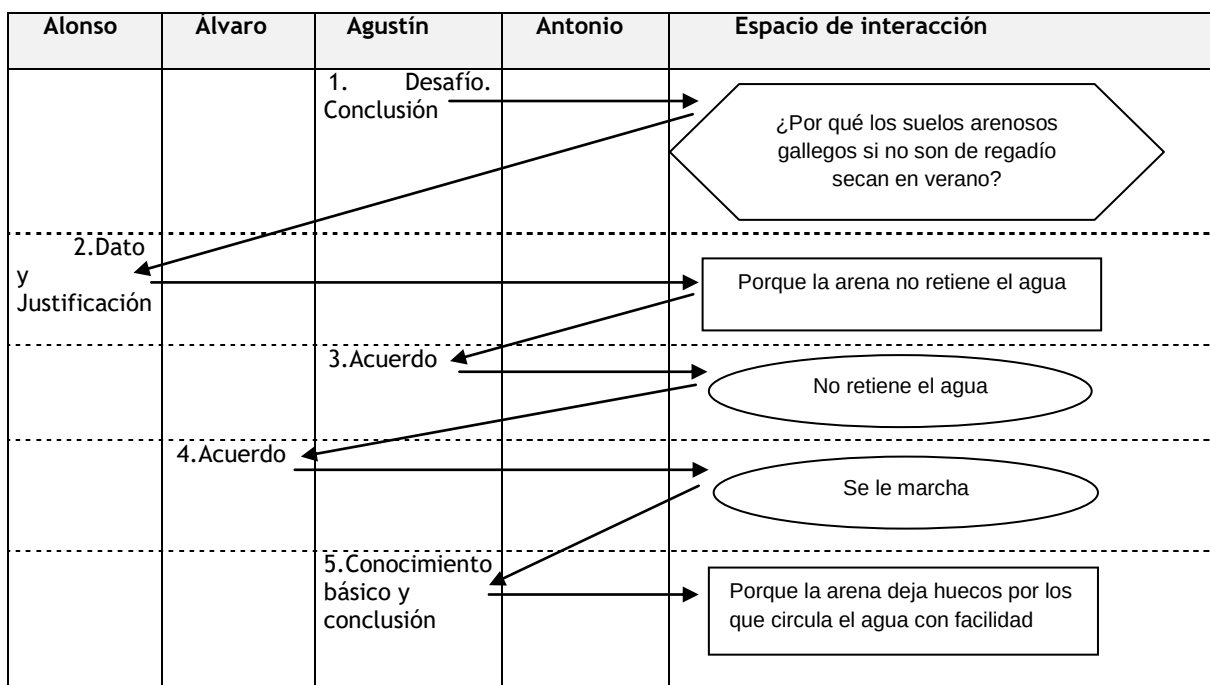


Figura 4.2.2. Mapa del discurso del primer evento de interés.

El mapa del discurso evidencia que se trata de una secuencia muy breve asimilable a una secuencia Receptiva (Hogan et al., 2000). Como en todos los argumentos analizados en el caso 1 y los que se analizarán en este caso se han producido mediante el trabajo autónomo colaborativo de los miembros de los equipos de trabajo de cuatro miembros. En este caso también Agustín asumió el desafío para la demanda inicial del conocimiento. Álvaro respondió con un dato en formato de justificación (“*porque la arena no retiene el agua*”) que resultó clave para la configuración del modelo de conocimiento básico que da sustento a la justificación que lleva a la conclusión que enunció Agustín (“*Porque la arena deja huecos por los que circula el agua con facilidad*”).

La conclusión incorpora así un modelo mental adecuado para explicar el hecho de que los suelos arenosos no retengan el agua. Ese modelo tiene la aceptación rápida por parte de los tres estudiantes que participan en la construcción del argumento, aportando Álvaro y Agustín los datos, justificaciones y conocimiento básico que dan sustento a la explicitación que

demanda la validez del modelo mental usado para dar respuesta a la cuestión. Como son dos los estudiantes que hacen las aportaciones sustantivas se categoriza el patrón del flujo del discurso como receptivo.

4.2.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la primera cuestión

El argumento contenido en este primer evento se representa en un esquema de Toulmin en la figura 4.2.3:

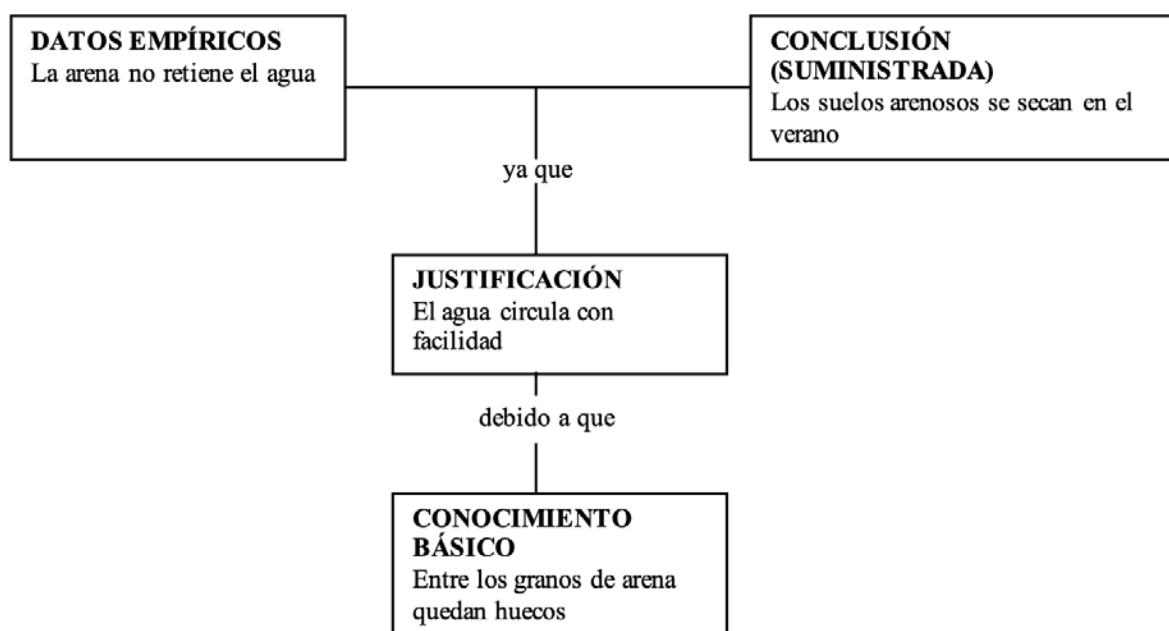


Figura 4.2.3. Esquema de Toulmin del argumento extraído del primer evento

Como se ve puede observar en el mapa del discurso, el argumento se construye con las aportaciones de dos estudiantes. Alonso aporta la justificación que es aceptada por Agustín, quien la complementa aportando el conocimiento básico. Álvaro solo manifiesta su acuerdo con la justificación de Alonso, y Antonio no interviene en ningún momento a lo largo del evento. Tampoco existe ninguna intervención del profesor durante el evento, por lo que la información que se recoge del dossier, junto con los modelos mentales iniciales de los estudiantes que resultan satisfactorios para conseguir una respuesta consensuada.

El argumento, aunque resultó sencillo y ágil en su construcción, es claro, coherente y está de acuerdo con las concepciones científicas sobre el fenómeno discutido. Es importante destacar que en la argumentación de esta secuencia se pone de manifiesto como a través del pensamiento colectivo que se elabora en este tipo de discusiones, se va vislumbrando la solución del problema final. Esto es evidente cuando Alonso descubre la importancia de lo que están estudiando para la solución del problema y dice: “¡Eh, aquí ya está diciendo cual es el mejor estuero para el cultivo!”.

Este argumento resulta útil para que los estudiantes asuman la importancia del tipo de suelo en las respuestas al cambio climático en un contexto de tendencia al aumento de la desertificación que ha llevado a que en la segunda década del siglo XXI el 35% de la superficie de los continentes se pueda considerar como desértica (IPCC, 2019). Es importante que en la educación secundaria básica se entienda el riesgo que tiene este el aumento de la desertificación. También es importante esta argumentación para comprender la relación del cambio climático con la tendencia a usar fertilizantes en la búsqueda de la compensación de la pérdida de fertilidad del suelo, y la relevancia de la filtración del exceso de fertilizantes para la calidad del agua, un recurso que también tiene a estar en compromiso con el cambio climático (Debonne et al., 2019). El aumento de temperatura del agua por el cambio climático sumado al aumento en la concentración de nutrientes que proceden de la filtración de agua en suelos excesivamente abonados por pérdida de fertilidad debido a la desertificación conlleva importantes riesgos de intensificación en la ocurrencia de los procesos de eutrofización. Por eso interesa que los estudiantes de secundaria básica comprendan y se sensibilicen con estos riesgos de eutrofización y con sus consecuencias ambientales. También interesa que conozcan las consecuencias del impacto ambiental de la eutrofización sobre la salud humana por el riesgo de que, en estas aguas eutrofizadas, debido al aumento de temperatura y nutrientes, proliferen y predominancia de algas tóxicas productoras de cianotoxinas (Hizfeld et al., 2000). Por este motivo en embalses destinados a la captación de agua para el consumo humano pueden alcanzarse niveles críticos de este tipo de toxinas que supongan una disminución de la calidad del agua hasta el punto de que no sea consumible por los humanos.

Por lo expuesto en el párrafo anterior interesa vincular este modelo de filtración de agua a través de los poros que quedan entre los granos de arena en suelos con exceso de abonado. Se debe tener presente también la retroalimentación debida a la compensación, con ese abono excesivo, de las pérdidas de productividad. A medida que los suelos van siendo menos productivos, suele aumentarse el abonado con abonos inorgánicos concentrados como el ejemplo del 15x15x15 que se ha visto en el caso 1 que forma parte de las representaciones mentales de los estudiantes sobre el abonado de los suelos agrícolas de su entorno.

En cuanto a la valoración de la calidad de la argumentación expresada en la figura 4.2.3 y en el que se explicita este modelo siguiendo la rúbrica de valoración de las tres principales categorías de Toulmin, se obtuvo la calificación de ocho sobre nueve puntos:

1. Hechos: 1b. Se apoya en hechos hipotéticos con coherencia científica (la arena no retiene el agua): 2 puntos.
2. Justificación: 2a. Expresa una concordancia plena entre los hechos y conclusiones con conexiones explícitas con conocimiento básico correcto y oportuno (el agua circula con facilidad): 3 puntos.
3. Conclusión: 3a. El enunciado explicita con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar el modelo científico coherente (entre los granos de arena quedan huecos): 3 puntos. La calidad del discurso queda así valorada con 8 puntos sobre el total de 9 puntos contemplados en la rúbrica de la figura 3.2.

4.2.2.4 Proceso de modelización de la argumentación para responder a la primera cuestión y valoración de la validez del modelo.

Aunque la valoración de la argumentación es alta, para aumentar la seguridad de que se trata de un patrón de argumentación válido para la modelización en ciencia escolar sobre las relaciones entre ciencias del suelo y ciencias del cambio climático, se recurre al método de análisis de la modelización esquematizado en la figura 3.10 del apartado de Metodología. La identificación en el discurso del evento resultó ser eficaz por contener un modelo mental claramente explicitado mediante las estrategias de argumentación que siguen los estudiantes. A lo largo de ese proceso de argumentación son rápidos, eficaces y seguros para dejar explicitado un desarrollo ontológico de un modelo de ciencia escolar útil para interpretar que los suelos arenosos no son fértiles porque el agua se filtra muy rápido y que facilita el lixiviado del exceso de abono inorgánico concentrado hacia la capa freática y de allí a ríos, lagos y mares. En este desarrollo ontológico no utilizan analogías ni símiles, por lo que parece que tienen ya interiorizado posiblemente por prácticas de laboratorio realizadas en la misma unidad. Existe un grado de acierto en la formulación y también una satisfacción del grupo, sin que se oponga ningún miembro a lo largo del desarrollo de la argumentación.

Se trata de un modelo fácilmente representable a nivel gráfico con esferas de tamaño grande que en los contactos dejan espacios por los que se va a colar el agua, por lo tanto, se trata de un modelo capaz de interpretar que cuanto más grandes sean las partículas del suelo (partículas arenosas) más poros y de mayor tamaño quedan en la estructura, lo que facilita el paso rápido del agua en el proceso de filtración. La capacidad del modelo para relacionar la proporción de partículas de tamaños diferentes, siendo necesaria la presencia de partículas más pequeñas que las arenas (arcillas y limos) queda evidenciado por las expresiones de Alonso: *“¡Eh, aquí ya está diciendo cual es el mejor terreno para el cultivo!”* que queda respaldado por Agustín diciendo: *“Aquí, 40, 20, 20”* refiriéndose a los porcentajes de los suelos francos idóneos para el cultivo de 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla, lo que se puede interpretar como que el modelo tiene coherencia suficiente para actuar como un modelo de ciencia escolar para integrar en este nivel de competencia curricular los contenidos relacionados con el modelo que forma parte del informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Además, conecta muy bien con el desarrollo ontológico del modelo que este grupo de trabajo desarrolló sobre el abonado de los suelos y que se recoge en el caso 1. Este modelo es útil para introducir en la ciencia escolar el arrastre de nutrientes en suelos agrícolas que tienden a la desertificación con el avance del cambio climático. En estas condiciones las precipitaciones arrastran componentes del suelo con sales minerales disueltas, provocando así la contaminación y pérdida de calidad del agua (Ongley, 1997).

La valoración de este modelo mediante los patrones de referencia de la tabla 3.2 deja le otorga una calificación de siete sobre ocho puntos:

1a. Expresan en el argumento un modelo explícito claro por iniciativa del grupo: 4 puntos.

2b. La concordancia entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimiento básico: 3 puntos.

Por tanto, la valoración global de la modelización siguiendo los patrones de referencia de la tabla 3.2 es de 7 puntos sobre un total de 8 puntos.

4.2.3 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

Sobre la respuesta a esta segunda cuestión “¿Por qué los suelos arcillosos presentan grietas en verano y se encharcan en invierno?” se recogen resultados, sobre el discurso y su argumentación, desarrollado por el equipo de los cuatro estudiantes que son objeto de estudio en estos dos primeros casos. Pero además de analizar la argumentación de este equipo de trabajo se analiza también una puesta en común, sobre las conclusiones a las que llegaron varios grupos en sus argumentaciones para responder a esta pregunta, por lo que resulta clarificadora al equipo de trabajo para evaluar los modelos que el grupo pequeño, liderado por Agustín, ha estado aplicando en la búsqueda de la respuesta a esta pregunta. De esta forma la puesta en común puede aumentar la clarificación de la ontología sobre los modelos en los que se apoya la respuesta a la pregunta, pudiendo aumentar las evidencias de las coherencias e incoherencias. Los resultados recogidos y analizados sobre la respuesta a esta cuestión resultan ser sustantivos para abordar la modelización, dimensión particular que es la que le da singularidad a este segundo estudio de caso.

4.2.3.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

4.2.3.1.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2 por parte del grupo de trabajo de cuatro miembros

La figura 4.2.4 comprende el discurso, categorizado, del grupo de trabajo de cuatro miembros objeto de estudio en estos dos primeros casos, con el que dan respuesta a la cuestión: “¿Por qué los suelos arcillosos presentan grietas en verano y se encharcan en invierno?”. Responder mediante discurso oral colectivo a esta cuestión genera oportunidades para explicitar e impulsar la evolución de modelos mentales que permitan a los estudiantes argumentar sobre los efectos negativos para la agricultura de la inundación de terrenos de cultivo y también de interpretar las posteriores consecuencias de las sequías en esos terrenos previamente inundados. Estos efectos derivados de la alternancia entre inundaciones y sequías son especialmente negativos en el caso de los suelos agrícolas conocidos como suelos francos, de textura y estructura óptimas granulométricamente para la agricultura (del orden del 60% de partículas pequeñas: limos y arcillas). Disponer de modelos mentales que permitan interpretar estos efectos negativos resulta de máximo interés para la transposición didáctica a la enseñanza secundaria básica de los contenidos transversales que integran Ciencias del Suelo y Ciencias del Cambio Climático y que forman parte del Informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Su interés radica en que permiten interpretar los efectos sobre la seguridad alimentaria de los eventos extremos derivados del Cambio Climático en términos de sequías e inundaciones.

Antonio	<i>¿Por qué se encharcan los suelos arcillosos en el invierno y presentan hendiduras en el verano?</i>	Desafío y conclusión	AG-DL
Agustín	<i>Vamos a ver, en invierno se encharcan porque aguantan toda el agua, ...eso está claro</i>	Dato hipotético	AG-EX
Antonio	<i>Porque retiene el agua</i>	Acuerdo	AG-PS
Alonso	<i>Y en el verano con el cambio de temperatura se</i>	Justificación	AG-EX

	<i>agrieta...o se seca, eso cuando se seca se junta</i>		
Antonio	<i>Se agrieta</i>	Dato	AG-EX
Alonso	<i>Pero, se agrieta porque se junta</i>	Conocimiento básico	AG-EX
Álvaro	<i>Al mojarse se juntan, y cuando le da el sol abren</i>	Oposición justificada	AG-EX
Alonso	<i>No puede ser, cuando le da el sol se juntan todas en grupos hacen grietas por el medio, se secan y se pegan</i>	Oposición justificada	AG-EX
Agustín	<i>Al estar mojados hacen lodos</i>	Dato empírico	AG-EX
Alonso	<i>Están sueltas, porque si tú pones un pie va para abajo</i>	Justificación	AG-EX
Agustín	<i>Están sueltas en el agua, sí</i>		AA-PS
Alonso	<i>Y cuando no están mojadas, se juntan todas, se juntan y se pegan y hacen grietas por el medio</i>	Conocimiento básico	AG-EX
Álvaro	<i>Unas marchan para un lado y otras para el otro</i>	Dato hipotético	AG-EX
Agustín	<i>Al secar hacen como el magma</i>	Dato hipotético	AG-EX
Alonso	<i>Se pegan</i>	Dato y acuerdo	AG-EX
Agustín	<i>Exacto, al secarse queda duro y forma...como se llama...</i>	Acuerdo	AG-PS
Antonio	<i>¡Limo! o arcilla</i>	Dato hipotético	AG-EX
Agustín	<i>Vale, ¿más?, si no es uno es otro no</i>	Desafío	AA-DL
Alonso	<i>¿Por qué se encharca? Porque llueve mucho y ... ¡je!</i>	Datos	AG-DL
Antonio	<i>Porque retiene el agua</i>	Justificación	AG-EX
Álvaro	<i>¿Por qué?</i>	Desafío	AG-PR
Agustín	<i>Porque retiene el agua que le cae toda, ...toda no, pero parte de ella</i>	Justificación	AG-EX
Antonio	<i>Porque retiene la mayor parte del agua que cae</i>	Acuerdo	AG-PS
Agustín	<i>Y lo de las grietas ¿por qué le pasa?</i>	Desafío	AG-PR
Alonso	<i>Porque se pegan en el verano, en el verano al secarse se pegan</i>	Justificación	AG-EX
Álvaro	<i>En el invierno le sobra agua, y el lodo al secarse se agrieta</i>	Justificación	AG-EX
Agustín	<i>¿Cuál es la mejor?</i>	Desafío	AG-DL
Alonso	<i>En el invierno el agua tiene todo suelto y en el verano al secarse se juntan</i>	Conocimiento básico	AG-EX
Álvaro	<i>Es como una masa</i>	Dato hipotético	AG-EX
Agustín	<i>¡Exactamente!</i>	Acuerdo	AG-PS

Álvaro	<i>Mira, tú tienes cemento y le pones mucha agua...</i>	Dato hipotético	AG-EX
Agustín	<i>Tú pones cemento y arena y le echas agua en el cemento y se agrieta</i>	Dato hipotético	AG-EX
Álvaro	<i>Es verdad, y luego al secarse, la arena cae toda y se agrieta</i>	Acuerdo Justificado	AG-EX
Antonio	<i>En el verano ¿qué?</i>	Desafío	AG-PR
Alonso	<i>En el verano al secar se pegan entre ellas, se unen más las partículas</i>	Conclusión	AG-EX
Agustín	<i>¿Lo dejamos así?, ¿será eso? ¿sí o sí?</i>	-	AG-DL

Figura 4.2.4. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en el equipo de trabajo objeto de estudio en este caso cuando argumentan para responder a la 2ª cuestión.

Con el avance de la secuencia aparece un enunciado emitido por Alonso (“*En el invierno el agua tiene todo suelto y en el verano al secarse se juntan*”) que es una conclusión coherente, y por tanto válida para la ciencia escolar, que permite aproximarse a la comprensión de los efectos de las inundaciones de suelos de cultivo en eventos extremos de inundaciones y de sequías sobre lo que advierte el informe IPCC del 7 de agosto de 2019 en relación a los riesgos del cambio climático en la seguridad alimentaria. Esta conclusión formulada por Alonso puede ser una evidencia de la evolución del modelo mental hacia lo microscópico, si bien, como se va a comentar en el análisis de la argumentación, desde el enfoque de la modelización, hay enunciados centrados en modelos mentales macroscópicos y microscópicos que llevan a interpretaciones incoherentes.

La argumentación evoluciona hacia la aparición, al menos a nivel implícito, de un modelo mental coherente (figura 4.2.12), que parece articulado en una concepción microscópica sobre la naturaleza corpuscular de la materia, especialmente identificable en tres turnos de intervención de Alonso. En el primero expresa, en oposición al modelo macroscópico que defiende de entrada Agustín: “*No puede ser, cuando le da el sol se juntan todas en grupos, hacen grietas por el medio, se secan y se pegan*”. Esta expresión puede interpretarse como una agregación de partículas, que antes estaban disueltas en el agua, y que se unen cuando el disolvente se evapora. En su segundo turno de intervención, usa una representación implícita del mismo conocimiento básico implícito, ligado a la justificación, relativo a la evaporación del agua que expresa así “*Y cuando no están mojadas, se juntan todas, se juntan y se pegan y hacen grietas por el medio*”. En la tercera intervención, que cierra el evento y finaliza la ontología de su representación implícita se expresa en modo de conclusión: “*En el invierno el agua tiene todo suelto y en el verano al secarse se juntan*”. También, al inicio, aporta un dato empírico coherente con este argumento y modelo cuando expresa: “*Están sueltas, porque si tú pones un pie va para abajo*”.

Sin embargo, Agustín y Álvaro orientan la aparición de grietas desde un modelo macroscópico incoherente (figura 4.2.10). Álvaro busca las grietas en las evidencias basadas en las observaciones de la aparición de grietas en el cemento que seca. Esta interpretación se ve apoyado por Agustín cuando dice “*Tú tienes cemento y arena y le echas agua en el cemento y se agrieta*”. La expresión parece aludir a una posible representación mental implícita de la naturaleza continua de la materia que forma el suelo, sin espacios entre las

partículas. Al menos eso parece desprenderse de la expresión de Agustín: “*Al secar hacen como el magma*”. La analogía del cemento tiene elementos de interés para el análisis de los fenómenos sobre los que se pregunta en relación con los suelos de cultivo ricos en arcilla, por cuanto que la mezcla de arena, agua y cemento, cuando se está amasando, tiene analogías con el suelo encharcado, lo que le da deformabilidad. Se trata una analogía procedente de las experiencias cotidianas y su interpretación queda enmarcada por la expresión de Álvaro “*Es verdad, y luego al secarse, la arena cae toda y se agrieta*”. De esta forma la materia parece que está siendo entendida de forma continua y la discontinuidad macroscópica de la grieta se debería a la pérdida de materia, que parece atribuirse a un proceso de dilatación y/o a la deshidratación que acompañan al cemento después de ser depositado en los muros. Posiblemente a eso se refería antes con la expresión “*Porque están mojados, y al estar mojados se juntan*”, pudiendo estar interpretando las grietas por pérdidas de materia que siempre está junta y que se separa como resultado de que se seca. Tendría reversibilidad si cuando llega de nuevo el agua, se sueldan las superficies a ambos lados de la grieta. En esas interpretaciones no se estarían contemplando la opción de vacío entre las partículas (Pozo et al., 1999). Ese enfoque macroscópico de continuidad en la materia, que solo puede estar formada por partículas que se mantienen unidas sin espacio, parece estar presente en la expresión de Álvaro: “*Unas marchan para un lado y otras para el otro*”. Con un modelo macroscópico de continuidad de la materia con esa expresión podría estar refiriéndose a que la grieta se forma porque las partículas salen del lugar donde estaban unidas con continuidad y sin espacio entre ellas, y esa separación daría lugar a la grieta. Al menos eso queda explicitado con la pérdida de arena.

Sin embargo, Alonso da una explicación coherente a la formación de la grieta con el modelo microscópico cuando expresa: “*En el verano al secar se pegan entre ellas, se unen más las partículas*”. Las aportaciones de Antonio también son sustantivas, porque habla de retención del agua cuando llueve mucho y no queda satisfecho con la analogía de Álvaro de que la grieta se forma porque las partículas se van a otro sitio diferente al sistema material que experimenta la formación de la grieta con la sequía.

4.2.3.1.2 Categorización de la argumentación de la puesta en común de la respuesta a la cuestión 2 para obtener un argumento consensuado

Una vez terminado el tiempo para que los equipos de trabajo de cuatro miembros co–construyeran los argumentos con los que responder a la cuestión “*¿Por qué los suelos arcillosos presentan grietas en verano y se encharcan en invierno?*” se ha realizado la puesta en común cuyo discurso queda recogido y categorizado en la figura 4.2.5:

PUESTA COMÚN SOBRE LA RESPUESTA A LA SEGUNDA PREGUNTA			
Profesor	<i>¿Por qué se encharcan los suelos arcillosos en el invierno y presentan grietas de retracción en el verano? Grupo uno</i>	Conclusión suministrada	GC-DP
Portavoz 1	<i>Los suelos arcillosos son de partículas muy pequeñas formando barro que es una barrera contra el agua. Durante el verano al calentarse se dilatan</i>	Conocimiento básico	AC-EX
Profesor	<i>(Copia en la pizarra y repite). Grupo 1 ¿algo más?</i>	-	GC-AP+DP

Portavoz 1	<i>Durante el verano, al calentarse, se dilatan y por falta de espacio el barro se pierde</i>	Conocimiento básico alternativo	AC-EX
Agustín	<i>Eso será al revés (en voz baja)</i>	Oposición	AG-PS
Profesor	(Repite mientras copia) Grupo 2	-	GC-AP+DP
Portavoz 2	<i>Lo mismo</i>	Acuerdo	AC-PS
Profesor	<i>¿Algo más?, ¿algún otro aspecto o matiz?</i>	-	GC-DP
Portavoz 2	<i>Al secarse el agua, las arcillas se separan</i>	Conocimiento básico alternativo	AC-EX
Profesor	(Repite mientras copia) Grupo 3	-	
Portavoz 3	<i>Las partículas pequeñas dejan pasar el agua en el invierno...en el verano el calor evapora el agua rápidamente en las capas de arriba</i>	Conocimiento básico	AC-EX
Profesor	(Repite). No sé si hay algún matiz o alguna cosa que se quiera aclarar	-	GC-DP
Portavoz 3	<i>Cuando se separan es porque el espacio que ocupaba agua quedó libre</i>	Justificación	AC-EX
Profesor	<i>¡Aja!</i>	-	GC-DP
Agustín	<i>¡Ahí estamos!</i>	Acuerdo	AG-PS
Profesor	<i>Bien, hay una incorporación aquí (señalando lo concluido hasta entonces)</i>	-	GC-DP
Profesor	(Toca el timbre) Bien, el próximo día empezamos por la práctica de laboratorio	-	GC-DI

Figura 4.2.5. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la puesta en común del grupo clase relativa al segundo evento de interés.

En esta puesta en común se completa la clarificación de la ontología del modelo macroscópico incoherente al microscópico coherente, pasando por un paso intermedio a los dos, que se concreta en un modelo microscópico incoherente. Esta recapitulación de la ontología se inicia con la intervención del primer portavoz que se expresa en términos de esa representación mental microscópica incoherente. En el primer turno de intervención expresa: “Los suelos arcillosos son de partículas muy pequeñas formando barro que es una barrera contra el agua. Durante el verano al calentarse se dilatan”. En el segundo turno de intervención expresa: “Durante el verano, al calentarse, se dilatan y por falta de espacio el barro se pierde” (modelo representado en la figura 4.2.11). Explica así la formación de la grieta por pérdida de partículas arcillosas (modelo corpuscular microscópico), aplicando ahora en términos microscópicos, la misma representación mental que utilizó Álvaro del grupo de trabajo objeto de estudio en el símil de la formación de grietas en el cemento que se seca por pérdida de materia, sólo que Álvaro la formuló en términos macroscópicos. El portavoz del segundo grupo en intervenir se muestra en conformidad con lo expresado el portavoz anterior, pero parece utilizar, en la justificación, una representación de la

continuidad de la materia derivada de la percepción macroscópica que centra la atención en la separación de la materia a ambos lados de la grieta (figura 4.2.10) que parece dar entender que la materia antes era continua, sin espacios entre las partículas: “*Al secarse el agua, las arcillas se separan*”.

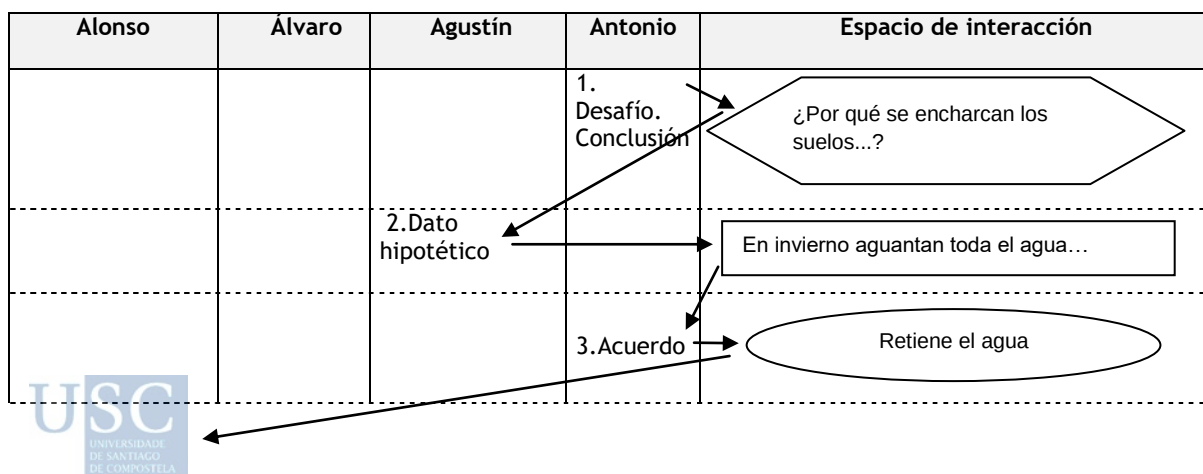
Sin embargo, el tercer portavoz utiliza un modelo que interpreta la formación de las grietas desde una concepción de la existencia de espacio entre las partículas de la materia: “*Cuando se separan es porque el espacio que ocupaba el agua quedó libre*”. En ese turno parece explicitarse el modelo implícito de Alonso. Pero en este caso siguen existiendo ciertos grados de incoherencia, porque da por supuesto que las partículas de arcilla se separan al evaporarse las del agua, cuando en realidad se juntan. En general se puede considerar que este tercer portavoz se expresa en los términos del modelo microscópico coherente (figura 4.2.12) lo que le vale el acuerdo del equipo objeto de estudio. En el primer turno en el que interviene expresa: “*(...) en el verano el calor evapora el agua rápidamente en las capas de arriba*”. El argumento con el que explicita este modelo coherente lo justifica acertadamente cuando expresa: “*Cuando se separan es porque el espacio que ocupaba agua quedó libre*”. La aparición de ese modelo microscópico parece ser visualizado por el docente con su expresión “*¡Aja!*”. Este modelo también es bien aceptado por Agustín con su expresión “*¡Ahí estamos!*”. Esto deja, al estudio de caso, la conclusión de que la argumentación grupal mediante discurso oral de intervenciones sucesivas puede contribuir a la evaluación de la evolución de modelos mentales iniciales incoherentes hacia modelos mentales coherentes.

4.2.3.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2

Como el desarrollo de la argumentación y modelización implica la confluencia, convergencia y complementariedad de los discursos del pequeño grupo objeto de estudio y de la puesta en común, se procede a expresar los resultados de los diagramas de discursos correspondientes a los dos discursos complementarios.

4.2.3.2.1 Mapa del discurso de la respuesta del grupo a la cuestión 2

En la figura 4.2.6 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 2.



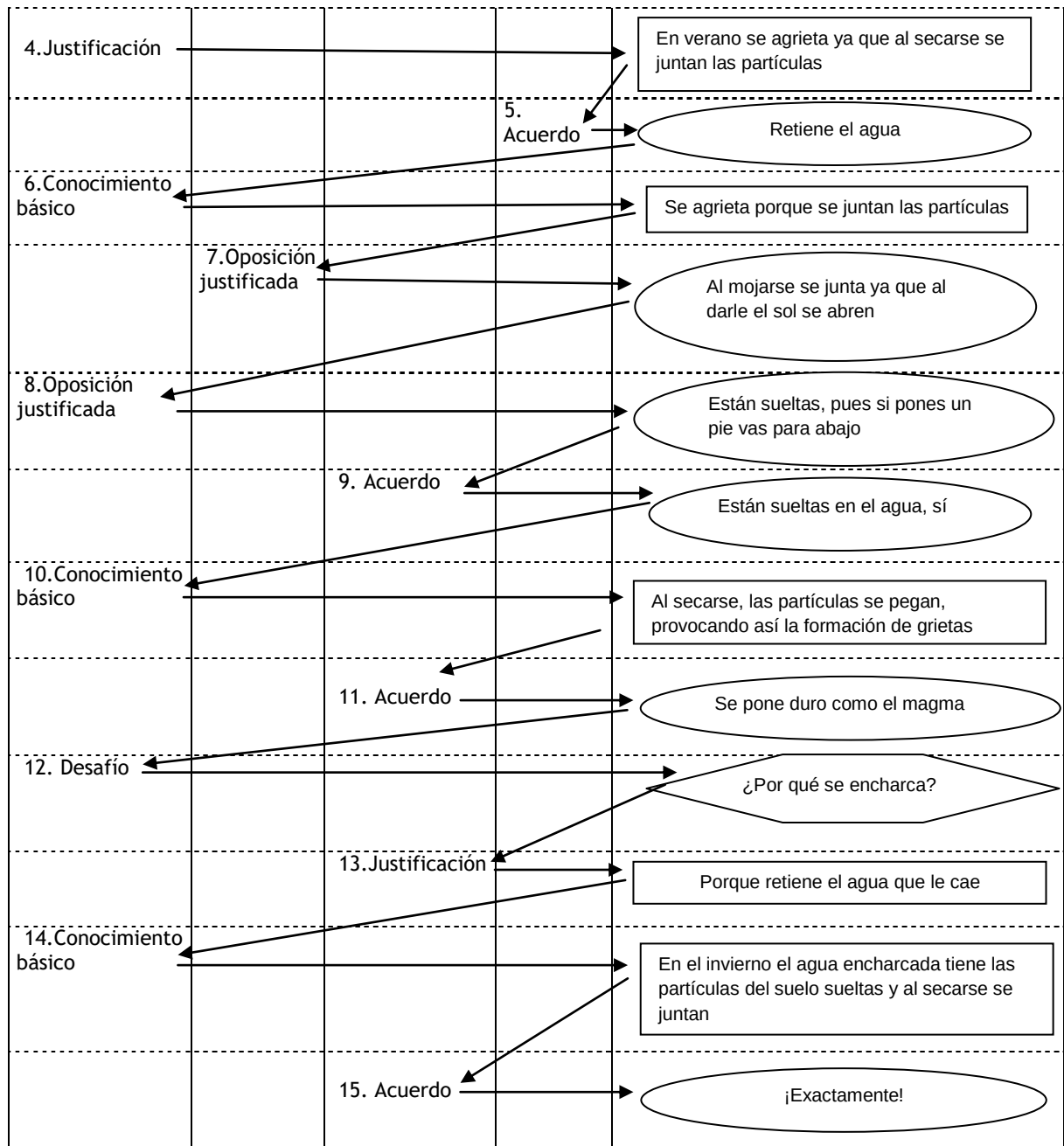


Figura 4.2.6 Mapa del discurso de la actividad en el equipo de trabajo a lo largo de la argumentación para responder a la segunda cuestión.

En el mapa del discurso se visualiza como la construcción de la argumentación que permita dar respuesta a la pregunta usa dos modelos, uno macroscópico y otro microscópico que se comentaron en la interpretación del discurso categorizado por turnos de intervención en la figura 4.2.4.

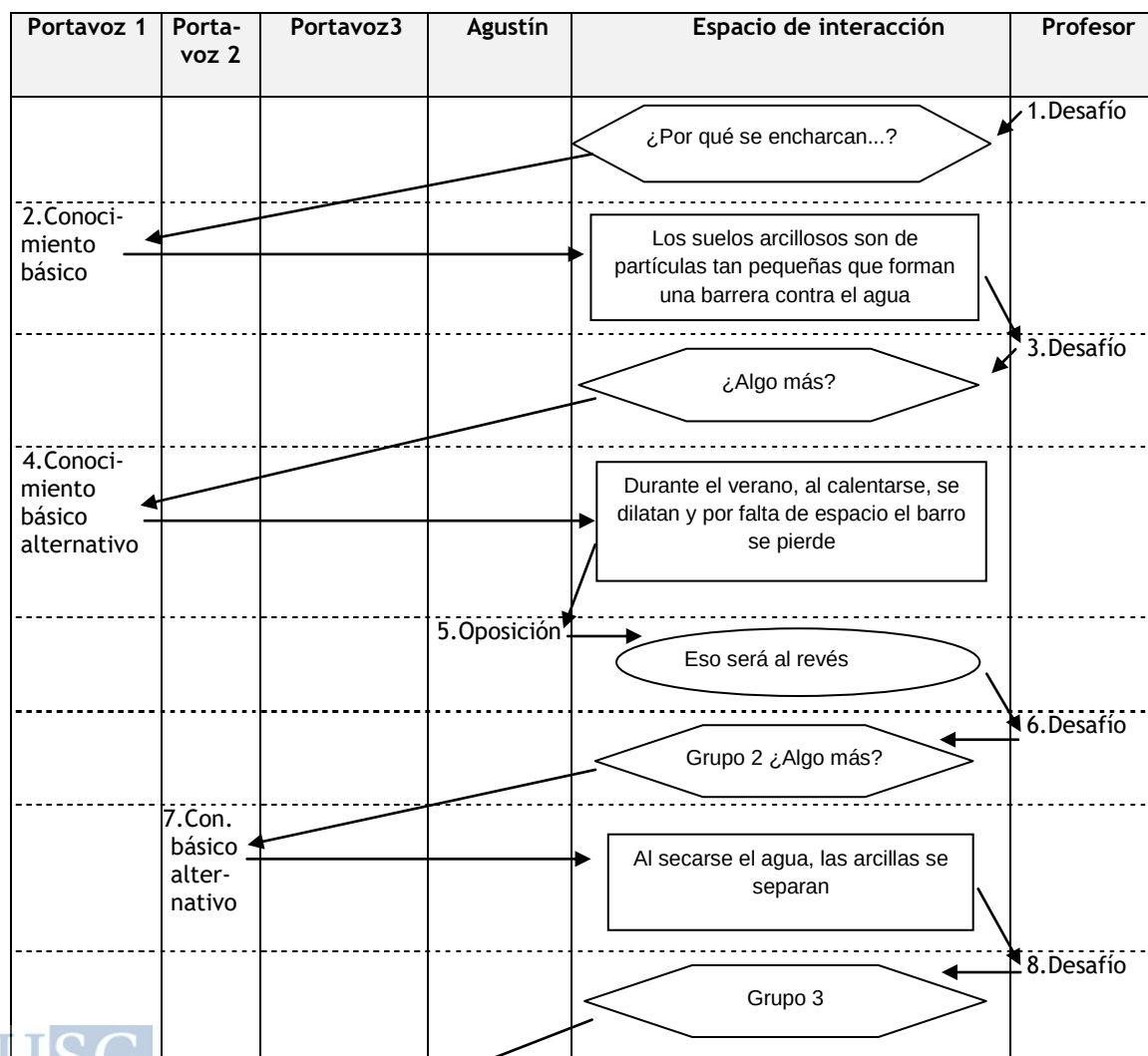
Los cuatro estudiantes participan en las estrategias de argumentación desarrolladas a lo largo del discurso comprendido en la secuencia. La discusión centró a los cuatro estudiantes en la tarea con continuidad y vocación de interpretación, realizando aportaciones sustantivas. Por eso se trata de una secuencia Colaborativa (Hogan et al., 2000) que sigue un patrón colaborativo en la que los cuatro participantes intervienen con diversas contribuciones

sustantivas, por cuanto que buscan aclarar la declaración anterior de otro colega de equipo, generando intercambios dialécticos que lleva a la argumentación colaborativa. En el discurso van apareciendo a nivel implícito modelos macroscópicos y microscópicos de la materia.

4.2.3.2.2 Mapa del discurso de la puesta en común sobre respuestas a la cuestión 2

En la figura 4.2.7 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implícito en la puesta en común relativa a las respuestas de diferentes grupos de trabajo a la cuestión 2, cuyos turnos de intervención quedaron categorizados en la figura 4.2.5.

El profesor adopta una dirección del coloquio de puesta en común acertada para que se expliciten los modelos mentales aplicados. Este cambio de rol del docente se expresa con la ubicación de sus turnos de intervención a la derecha el espacio de interacción.



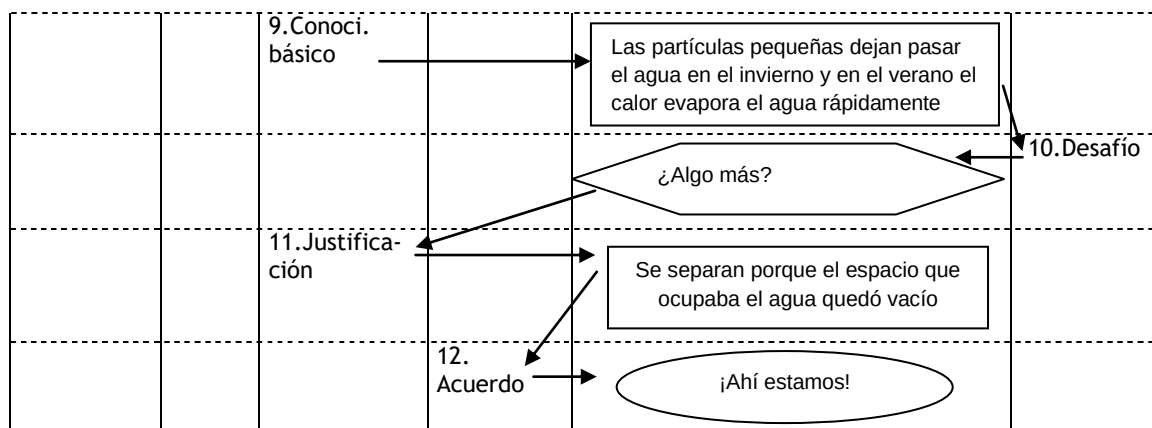


Figura 4.2.7. Mapa del discurso de la puesta en común sobre los argumentos que responden a la segunda cuestión.

La puesta en común comienza con un modelo microscópico incoherente (el plasmado en los argumentos expresados por los grupos 1 y 2) que explica que la arcilla está formada por partículas dilatables y que cuando se dilatan expulsan otras partículas porque no queda espacio entre ellas (figura 4.2.11). En su aplicación se va a mostrar como incoherente e insatisfactorio para la interpretación del encharcamiento y la formación de las grietas. Aparece también un modelo microscópico que considera que entre las partículas de arcilla queda espacio que ocupa el agua, que va en la línea del microscópico coherente desarrollado por el grupo pequeño objeto de estudio (figura 4.2.12). El docente mantuvo una dirección completa de la puesta en común, pero supo mantener un papel neutro para demandar que se explicitaran los modelos mentales a través de la argumentación. Sin embargo, no ocultó su satisfacción cuando visualizó una interpretación asumible desde un modelo microscópico que admite espacio entre las partículas que podría ocupar el agua. Esa satisfacción del docente parece relevante para el grupo pequeño objeto de estudio que ya estaba bastante decantado hacia el modelo microscópico que aportó Alonso, que se impone al modelo macroscópico incoherente que defendieron inicialmente Álvaro y Agustín. Este último, en su rol habitual de líder, expresa su acuerdo con el modelo microscópico que expuso el portavoz del grupo 3 con la expresión: “¡Ahí estamos!” por considerar que estaba en sintonía con el que se consolidó en el pequeño grupo objeto de estudio (figura 4.2.12). Esta puesta en común le permitió al equipo de trabajo evaluar la validez de su modelo consensuado y que se denomina como microscópico coherente. Pero también permitió aflorar una transición ontológica entre ambos modelos que se negociaron en el pequeño grupo objeto de estudio, que quedó formulado en este tercer modelo microscópico incoherente. Este nuevo modelo que surge en la puesta en común considera que las partículas de arcilla se dilatan y expulsan otras partículas, y cuando recuperan su tamaño normal aparecen las grietas con el mismo volumen que el que ocupaban las partículas que se perdieron con la dilatación (figura 4.2.11).

4.2.3.3 Esquema de Toulmin y valoración de los argumentos contenidos en el discurso de respuesta a la cuestión 2 del segundo caso

Se estudian por separado los argumentos relativos al encharcamiento y a la formación de grietas, porque así se desarrollan, aunque están claramente relacionados desde el punto de vista edafológico, por cuanto que la compactación y agrietamiento derivan del encharcamiento y posterior evaporación de la totalidad del agua de la charca. También están

relacionados por la ontología desde los modelos mentales implicados, porque tienen en común un mismo modelo mental sustantivo para la comprensión de la pérdida de fertilidad de los suelos por eventos extremos de inundaciones y sequías.

Pero para conseguir una mayor simplicidad, a efectos de su estudio, se representan de forma separada, mediante esquemas de Toulmin, los argumentos sobre formación de grietas y sobre el encharcamiento que se expresan en las figuras 4.2.8 y 4.2.9, respectivamente. Los rectángulos representados por líneas discontinuas se corresponden con elementos incorporados, desde la puesta en común, a la sustancia del argumento que ha sido elaborado por el equipo de trabajo objeto del estudio (líneas continuas). También se apuntan las ideas que son alternativas procedentes del modelo macroscópico de interpretación continua de la estructura de la materia, porque, aunque son alternativas son igualmente valiosas como punto de partida de modelos mentales iniciales que ayudan, mediante su modificación (Moreira, 1996) a través de la argumentación, a la evolución hacia el modelo mental microscópico más evolucionado y por tanto más coherente con el modelo edafológico.

4.2.3.3.1 Argumento relativo a la formación de grietas en la respuesta a la cuestión 2

En la puesta en común se expresan dos justificaciones, una apoyada en un modelo microscópico coherente y la otra en un modelo microscópico alternativo por incoherente para la ciencia, porque se apoya en una representación mental que implica la dilatación de las partículas que expulsa materia. Se traslada al razonamiento en término de partículas microscópicas (figura 4.2.11), en el argumento elaborado por el primer equipo que interviene en la puesta en común, la incoherencia del modelo macroscópico construido por el equipo de trabajo (figura 4.2.10). Este primer equipo que interviene en la puesta en común expone que las grietas se forman por la dilatación de las partículas que expulsan a parte de la materia arcillosa del sistema, quedando vacío el espacio que ocupaban (ver cuadros con líneas discontinuas que incorporan elementos procedentes de la puesta en común). Esta argumentación tiene una correspondencia analógica con el modelo macroscópico incoherente con las grietas en el cemento, en la visualización de la caída de arenas en paredes de cemento agrietadas (figura 4.2.10). La puesta en común permite completar la evaluación de la argumentación del grupo de trabajo llegando a la conclusión de que ha llevado la argumentación a la evolución desde un modelo inicial macroscópico incoherente (figura 4.2.10) hasta consensuar el validez de la evolución del modelo que configura la conclusión del argumento en un punto de fácil acuerdo con el modelo microscópico coherente (figura 4.2.12) que también está presente en el argumento del grupo 3 expresado en la puesta en común: *“Las partículas de arcilla al perder el agua que retienen se aproximan más unas a otras, originándose grietas en determinadas zonas”*.



Figura 4.2.8 Representación del primer argumento relativo a la formación de grietas cuando secan suelos arcillosos encharcados.

La claridad y coherencia de la argumentación realizada por el equipo de trabajo objeto del estudio y que se reflejada en la figura 4.2.8 es más que aceptable. De ahí que la puesta en común no aportó nada relevante a la sustancia del mismo, más allá de su contribución a la evaluación de la validez satisfactoria de la argumentación.

4.2.3.3.2 Argumento relativo al encharcamiento en la respuesta a la cuestión 2

El equipo de trabajo objeto de estudio en este caso incorpora evidencias de lodos en los suelos arcillosos inundados que relaciona con su encharcamiento y con que se hunda el pie en ellos. También aquí el conocimiento básico procede del modelo microscópico coherente que admite la posibilidad de la existencia de espacio entre las partículas para la introducción de agua que se evidencia en la expresión “*Las partículas que forman este tipo de suelo retienen el agua y como consecuencia de ello, se separan*”. Pero también aparece el modelo macroscópico incoherente en el enunciado de conocimiento básico “*El agua de la lluvia une los componentes del suelo arcilloso a ambos lados de la grieta*” por lo que desde una concepción continua de la estructura de la materia solo las grietas supondrían oportunidades para que quede retenida el agua en el suelo.

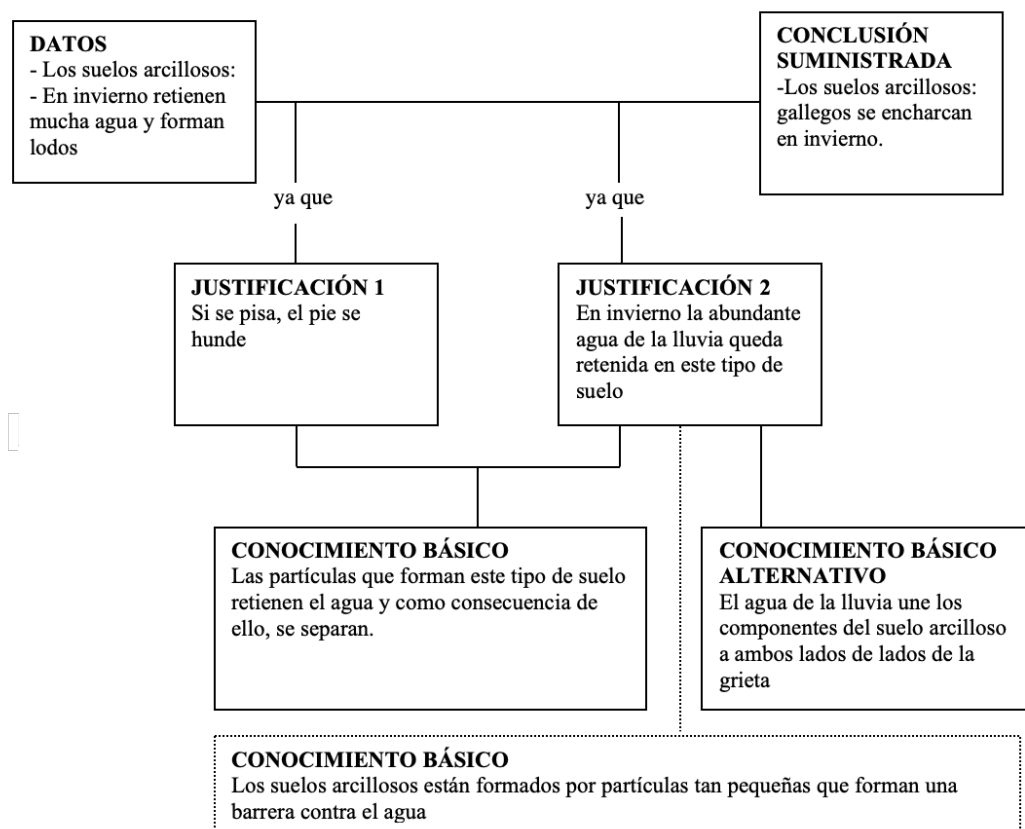


Figura 4.2.9 Representación del segundo argumento del segundo evento de interés

4.2.3.3.3 Valoración de los argumentos incluidos en el discurso de la cuestión 2

En los dos argumentos se mezclan modelos mentales macroscópicos y microscópicos y su producción es simultánea, ya que ambos se refieren a cambios estacionales en los suelos arcillosos pasando de una situación a la otra.

Como este argumento esquematizado en la figura 4.2.9 está relacionado con el anterior (figura 4.2.8) en su producción, también comparte sus principales características entre las que destaca la claridad y coherencia. Tampoco la puesta en común aportó demasiados elementos nuevos, pues solo el portavoz del grupo 1 matizó el conocimiento básico, incorporando al modelo adoptado por el equipo de trabajo la idea de que la impermeabilidad se basa en el pequeño tamaño de las partículas de la arcilla (líneas discontinuas en las figuras 4.2.8 y 4.2.9). Por eso los dos argumentos coinciden en la valoración de siete (7) sobre nueve (9) puntos:

1. Hechos: 1b. Se apoya en hechos hipotéticos con coherencia científica (proceden de experiencias previas): si se pisa arcilla el pie se hunde, el cemento cuando se amasa se comporta como la arcilla y cuando se seca también se agrieta: 2 puntos.
2. Justificación: 2a. Expresa una concordancia plena entre los hechos y las conclusiones con conexiones explícitas con conocimiento básico correcto y oportuno. Se valora centrándose en el modelo microscópico que integra el agua entre huecos que quedan entre las partículas: 3 puntos.

3. Conclusión: 3b. Del enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento. También valorado desde el modelo microscópico de la valoración del punto 2: 2 puntos.

4.2.3.4 Proceso de modelización para explicar el encharcamiento y posterior agrietamiento cuando secan los suelos arcillosos, representación infográfica y valoración de los modelos.

Del análisis de la argumentación del equipo de trabajo de cuatro estudiantes, sorprende que Alonso se centre en el nivel microscopio como modelo mental inicial, teniendo en cuenta la resistencia del modelo de la continuidad en la estructura de la materia (Pozo et al., 1999). Lo hace para explicar la aparición de las grietas como resultado de la desaparición de las moléculas de agua de entre las partículas de arcilla, lo que puede implicar una representación mental de que el agua ocupa un espacio entre partículas. Este modelo mental que expresó Alonso se encontró con la oposición de Álvaro, quien solo analiza el problema a nivel macroscópico de estructura continua de la materia que se representa en la figura 4.2.10, al entender la formación de las grietas como consecuencia de la dilatación. Posiblemente haga esta interpretación porque le cueste integrar la representación mental que está usando Alonso, probablemente por tener su modelo mental inicial situado en el nivel macroscópico que implica una estructura de la materia continua sin espacios entre las partículas. Sin embargo, parece que se muestra de acuerdo con la propuesta cuando se hace consciente de la imposibilidad de la analogía con el cemento para interpretar la reversibilidad que suponga la desaparición de las grietas con nuevas inundaciones.

El modelo macroscópico inicial (figura 4.2.10) justifica la aparición de grietas por pérdida de materia en base al dato hipotético empírico de la pérdida de arenas en el cemento seco agrietado. Por eso a nivel implícito parece estar estableciendo una analogía entre la formación de grietas del suelo, que estuvo encharcado, cuando se seca, con la aparición de grietas en el cemento seco, que justifica por pérdida de arena. Llega así a un modelo incoherente no reversible, porque de ser así como lo expresan, las grietas se harían permanentes. Este modelo mental basado en la continuidad de la estructura de la materia no tendría la reversibilidad necesaria para explicar la desaparición de las grietas, una vez que el suelo se vuelve a inundar. Superado este modelo inicial defendido por Álvaro y Agustín, todos asumen como propia la argumentación de Alonso. Buena prueba de ello es la expresión “¡exactamente!” emitida por Agustín, quien posteriormente también expresaría “Ahí estamos” en la puesta en común cuando el grupo 3 también argumenta en base a un modelo microscópico coherente. El hecho de que Agustín haya expresado este acuerdo puede tener especial relevancia. Según las notas del observador a lo largo del desarrollo de la unidad se ha demostrado como el alumno con más vocación para liderar el grupo, en constante competencia con el propio Alonso, mostrando cierta reticencia a dar su aprobación a las aportaciones de Alonso. Esta relevancia de cambio de oposición a acuerdo con Alonso tiene más relevancia por el hecho de que se posicionó con el modelo inicial expresado por Álvaro, quien consideraba la estructura continua de la materia. Por eso este cambio conceptual así explicitado puede ser un indicio sustantivo de que la argumentación ha generado una evolución de ese modelo mental inicial incoherente hacia el microscópico coherente que formuló Alonso (representado por la figura 4.2.12) y que también apareció en la argumentación. Curiosamente, en la puesta en común, que quedó incompleta por la

finalización de la clase, en la argumentación presentada por el portavoz del grupo 3 no aparece con tanta claridad el enfoque microscópico como en el modelo mental inicial de Alonso.

En la puesta en común el portavoz del grupo 1 presenta un razonamiento microscópico que admite en su representación implícita la existencia de espacio entre las partículas al afirmar que *“los suelos arcillosos están formados por partículas muy pequeñas capaces de dilatarse con el calor y cuando lo hacen expulsan al fluido barroso”* (se supone que debe ocupar el espacio entre las partículas cuya dilatación posiblemente lo expulsen a otro sitio como podría ser la capa freática) queriendo justificar así la aparición de las grietas macroscópicas como resultado del sumatorio de las micro expulsiones. De nuevo nos aparece aquí la explicación de la formación de grietas por pérdida de materia arcillosa, pero en este caso se trata de un modelo microscópico. La incoherencia del modelo es manifiesta, pues nunca el aumento de temperatura produce esas grietas por dilatación y además el modelo de formación de grietas por pérdida de materia no es reversible. Tampoco es coherente el arrastre hacia la capa freática cuando hay evaporación, y tampoco es comprensible que esa supuesta expulsión de partículas de la materia arcillosa por dilatación con un proceso de volatilización. Por tanto, se trata también de un modelo incoherente (representado por la figura 4.2.11) en el que se mezclan niveles explícitos macroscópicos y microscópicos (Gómez y Pozo, 2000). Por tanto, la incoherencia de este modelo microscópico en el que se forman grietas por expulsión de materia debido a la dilatación de partículas se evidencia porque nunca el aumento de temperatura produce ese tipo de grietas y además el modelo de formación de grietas por pérdida de materia no es reversible.

Posiblemente estas incoherencias fueron las que motivaron que el líder del grupo objeto de este estudio de este caso haya manifestado en voz baja, en la puesta en común, su oposición con la expresión *“será al revés”*. La aportación de esta puesta en común más aceptada por nuestro grupo, por resultar ser una justificación más de su línea argumental, es la aportada por el grupo tres (microscópico coherente representado con la figura 4.2.12), cuando manifiestan que *“se separan porque el espacio que ocupaba el agua quedó vacío”*; esto lo prueba la exclamación en voz baja de Agustín, líder del grupo objeto del estudio de caso, *“¡Ahí estamos!”*.

Esta puesta en común ha evidenciado la importancia del papel del profesor como activador de ideas de los estudiantes en la evolución del modelo, a través del sumatorio de aportaciones de los diferentes grupos, que consigue a base de preguntas que actúan a modo de desafíos. También aporta una estrategia docente de un valor especial para la singularidad de la modelización en este estudio de caso. Se trata de su posición intencional de no aportar información, en coherencia que la metodología que se planteó para explicitar estos modelos. Con esta estrategia metodológica buscó que los estudiantes explicitaran sus modelos mentales mediante el desarrollo de estrategias de argumentación que demandan que no interfiera el docente (Duchsl, 1998). Interesa este rol del docente para conseguir un auténtico cambio representacional a través de estrategias de argumentación en las que el lenguaje pueda evidenciar nuevos formatos representacionales (Mortimer, 1998). Esta activación de ideas justifica la importancia de plantear estas puestas en común para que el discurso de los grupos de trabajo se enriquezca con nuevos datos, justificaciones y sobre todo conocimiento básico. En este caso, el grupo de trabajo estudiado no hizo incorporaciones en la puesta en común, ya que su argumentación se mostró como la más clara y coherente de las expuestas.

La modelización que se explicita a través del desarrollo de la estrategia de argumentación, del grupo de trabajo objeto de estudio, para explicar el encharcamiento y la formación de grietas en suelos arcillosos, aporta un valor singular de este caso a la investigación por evidenciar una evolución de un modelo mental coherente que va en contra de nuestra percepción intuitiva del mundo en el que la materia se presenta ante nuestros sentidos como algo continuo. De esta forma se consiguió la evolución del modelo macroscópico alternativo (figura 4.2.10) resistente al cambio conceptual por estar profundamente arraigado en nuestra percepción del mundo que lleva a interpretar la materia como compacta con las partículas tan juntas que no dejan espacio entre ellas (Gómez y Pozo, 2000). El modelo microscópico coherente (figura 4.2.12) logró vencer la oposición inicial de Álvaro, quien inicialmente sigue, con el apoyo de Agustín, un modelo macroscópico incoherente (figura 4.2.10) al razonar que las grietas se forman por el calor del verano y que la lluvia del invierno debería soldar los materiales de ambos lados de la grieta. De ser así no habría reversibilidad porque la materia que soldaría la grieta no sería el suelo, sino el agua. Por eso ese modelo macroscópico no se muestra con la reversibilidad necesaria para explicar al mismo tiempo la formación y desaparición de las grietas. Esta falta de reversibilidad se evidenció en su propio ejemplo análogo del comportamiento del cemento. La aparición de las grietas, que atribuían a la dilatación, no eran reversibles, porque para conseguir esa reversibilidad debería explicar su formación por deshidratación más que por dilatación. Al interpretar la formación de grietas por pérdida de arena, evidencia la no reversibilidad del modelo, pues las grietas se harían permanentes y el modelo no tiene la reversibilidad necesaria para explicar la desaparición de las grietas con las lluvias. A partir de este momento Alonso y Agustín parecen parcatarse de estas incoherencias de su modelo mental macroscópico y se sumaron al modelo microscópico de Alonso, pasando la secuencia a ser totalmente “consensual”, lo que pudo significar una evolución del modelo que le da un valor añadido al caso para la vinculación del desarrollo de estrategias de argumentación con el proceso de modelización.

El que aporta las ideas en la elaboración del argumento que se representa en la figura 4.2.12 es Alonso. Además, sorprende que se centre en el nivel microscopio, analizando la aparición de las grietas como resultado de la desaparición de las moléculas de agua de entre las partículas de arcilla, lo que supondrá la unión de estas cuando dejan de estar disueltas en el agua que se evapora. En este enfoque se encuentra con la oposición de Álvaro quien solo analiza el problema a nivel macroscópico, al entender la formación de las grietas como consecuencia de la dilatación, posiblemente porque le cuesta seguir el tipo de análisis que hace Alonso. Sin embargo, parece que queda convencido, al descubrir que al cemento le ocurre lo mismo. Aunque parece que sigue pensando en términos macroscópicos, pues explica las grietas por la pérdida de arenas al secarse.

4.2.3.4.1 Representación gráfica y valoración del modelo macroscópico incoherente.

El modelo macroscópico expresado mediante la figura 4.2.10, aunque incoherente se evalúa como valioso para el estudio porque ha participado de forma significativa en el proceso de modelización.

En la valoración recibe dos (2) puntos sobre el total de ocho puntos que otorga la escala de la rúbrica de la Tabla 3.2 para valorar la autonomía, rigor y maduración de la modelización. La valoración en las dos dimensiones son las siguientes:

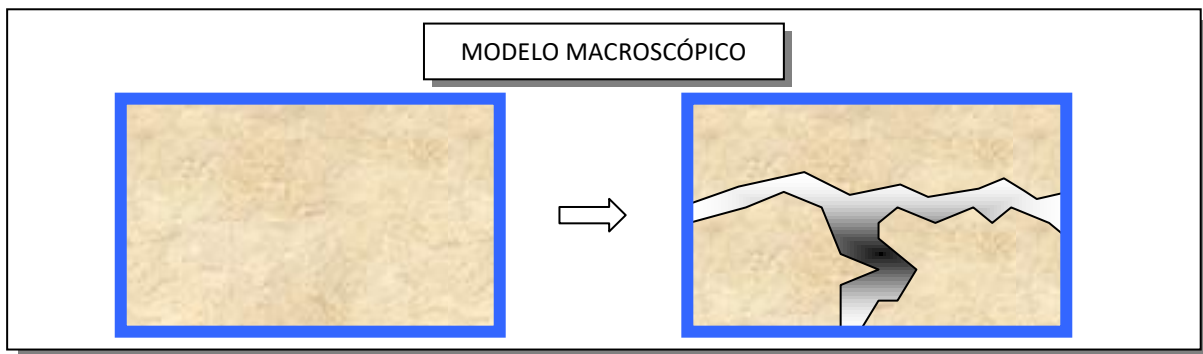


Figura 4.2.10 Representación del modelo macroscópico que interpreta la estructura de la materia como algo continuo que no deja espacio entre las partículas y que interpreta las grietas por pérdida de materia y/o procesos de dilatación.

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1d. El grupo (en este caso 2 estudiantes del grupo objeto de estudio y los grupos 1 y 2) comparte un modelo, pero sin suficiente claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar: 1 punto.
2. Evolución y madurez: 2d (1 punto). El proceso de evolución no es suficiente para superar ideas alternativas presentes en el modelo mental inicial de partida.

Por tanto, este modelo macroscópico incoherente queda valorado, siguiendo los patrones de referencia de la rúbrica de la figura 3. 2 en dos (2) puntos de valoración global.

4.2.3.4.2 Representación gráfica y valoración del modelo microscópico incoherente.

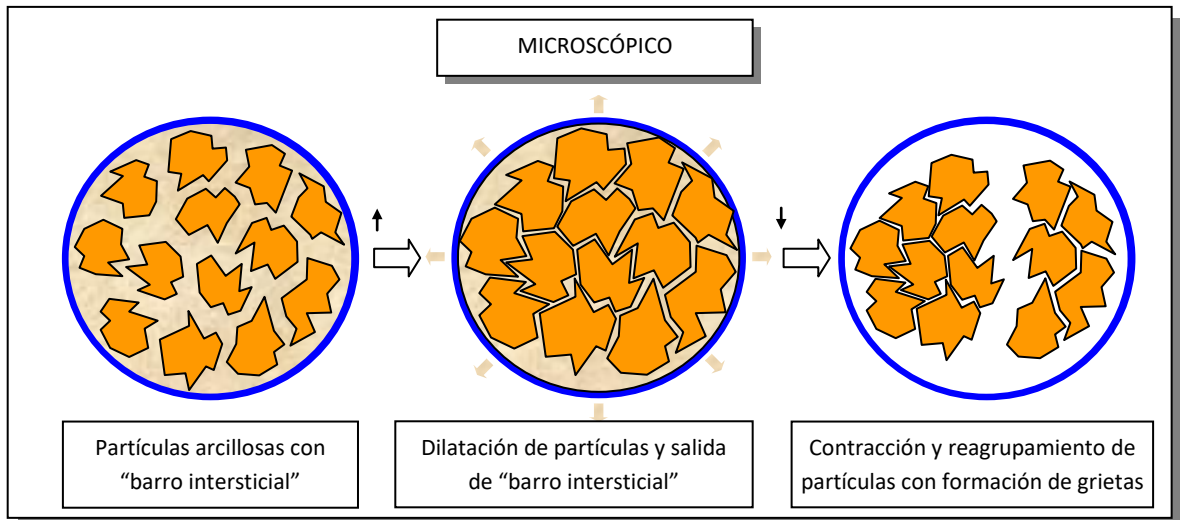


Figura 4.2.11. Representación del modelo microscópico incoherente que interpreta que la dilatación hace perder partículas por falta de espacio y que cuando bajas las temperaturas, al volver las partículas a su tamaño normal, se forman grietas.

Se trata de un modelo incoherente expresado por el portavoz del grupo 1 en la exposición de la argumentación de su equipo: En el primer turno de intervención expresa: “Los suelos arcillosos son de partículas muy pequeñas formando barro que es una barrera contra el agua. Durante el verano al calentarse se dilatan (...) y por falta de espacio el barro se pierde”. A pesar de que admite espacio entre las partículas, justifica la pérdida de materia como en el modelo macroscópico. Se trata de un modelo incoherente que tiene aspectos que invitan a pensar en él como una transición del modelo macroscópico incoherente al microscópico coherente sobre la formación de las grietas.

En la valoración del modelo representado por la figura 4.2.11 recibe dos (2) puntos sobre el total de ocho puntos que otorga la escala de la rúbrica de la Tabla 3.2 para valorar la autonomía, rigor y maduración de la modelización. La valoración en las dos dimensiones:

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1d. El grupo comparte un modelo, pero sin la suficiente claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar (referido al grupo 1 y 2 en lo expuesto en la puesta en común): 1 punto.
2. Evolución y madurez. 2d. El proceso de evolución no es suficiente para superar ideas alternativas presentes en el modelo mental inicial de partida (referido al grupo 1 y 2 en lo expuesto en la puesta en común): 1 punto.

Por tanto, este modelo microscópico incoherente también obtiene la valoración global de dos (2) puntos.

4.2.3.4.3 Representación gráfica y valoración del modelo microscópico coherente.

Se trata del modelo mental que evoluciona en el desarrollo de las capacidades de argumentación que conducen a la elevada valoración de los dos argumentos sinérgicos y complementarios (figuras 4.2.8 y figura 4.2.9).

Permite interpretar el encharcamiento de los suelos arcillosos por la introducción y retención del agua en los espacios microscópicos que quedan entre las pequeñas partículas. También permite interpretar la aparición de grietas cuando esa agua se evapora, porque al hacerlo aproxima, hasta unir, partículas y en ese proceso se suman los espacios microscópicos hasta dar los espacios macroscópicos que representan las grietas.

Esta potencia de explicación se expresa también la valoración máxima del modelo que recibe la valoración máxima de ocho (8) puntos sobre el total de ocho que se pueden otorgar aplicando la rúbrica de la tabla 3.2, recibiendo los cuatro puntos en las dos dimensiones:

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1a. Expresan en el argumento un modelo explícito y claro por iniciativa del grupo: 4 puntos.
2. Evolución y madurez. A lo largo del argumento hay una evolución desde un modelo conceptual inicial hasta uno más próximo al conceptual de la ciencia llegando a un enunciado válido para la ciencia escolar de ese nivel de competencia curricular: 4 puntos.

Con este modelo objeto de estudio detallado y particular de este caso, esta investigación plasma un modelo de ciencia escolar coherente construido por los estudiantes. Se trata de un modelo con potencial para ser útil en procesos de enseñanza y aprendizaje en el ámbito de la ciencia escolar, con el valor añadido de que su proceso de modelización fue generado por iguales, lo que puede facilitar los procesos de desarrollo de las capacidades de argumentación y de interpretación en otros contextos escolares de enseñanza secundaria.

Las nuevas formas de aprender y enseñar sobre los nuevos retos que relacionan el cambio climático con diferentes impactos ambientales que está comunicando y va a ir comunicando en lo sucesivo el IPCC, requieren de nuevos modelos de ciencia escolar. En ese sentido resulta interesante investigar sobre procesos de modelización como este, que puedan conducir a encontrar los modelos necesarios a través del desarrollo de capacidades de argumentación colectiva en contextos de ciencia escolar. Por eso este caso deja, a través de este modelo microscópico coherente (figura 4.2.12), una conclusión con implicaciones didácticas favorables para introducir en el currículo de 1º de Bachillerato los aspectos de ciencia escolar recogidos en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

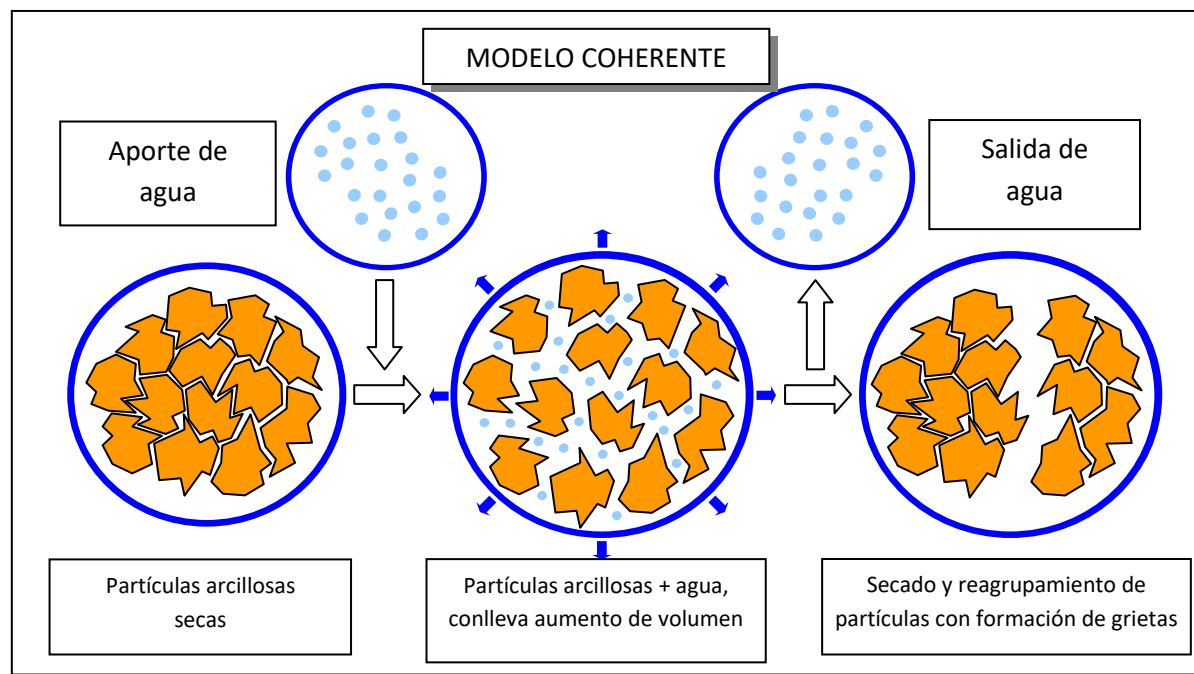


Figura 4.2.12. Representación del modelo microscópico coherente que interpreta el encharcamiento por la retención de agua entre las partículas y las grietas por agrupamientos de partículas cuando el agua se evapora.

4.2.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la diferencia de la filtración en las tres muestras de la práctica

Se expresan y analizan los resultados a una de las dos cuestiones relativas a una práctica de laboratorio que busca aplicar el modelo microscópico coherente de la figura 4.2.12 para interpretar las relaciones entre la capacidad de retención de agua de los suelos con la disolución de nutrientes necesarios para la fertilidad de las plantas. Interesa que los estudiantes comprendan la importancia de la arcilla y del humus para la fertilidad del suelo, pero también de la arena para facilitar la circulación de agua y aire. De esa forma pueden entender los efectos del cambio climático alterando la estructura de suelos de cultivo de ese tipo de composición franca (40% arena, 40% de limo y 20% de arcilla). La interiorización de la importancia de este equilibrio es necesaria para entender la preocupación que transmite el informe IPCC del 7 de agosto de 2019 por los escenarios de impactos del cambio climático sobre la oxidación de la materia orgánica del humus, los efectos de compactación y pérdida de nutrientes por las inundaciones, filtración de los excesos de abonos a la capa freática y los efectos de la sequía sobre la desertificación.

En esta práctica se vierte la misma cantidad de agua en tres embudos con papel de filtro que contienen muestras de arena, arcilla y humus, y que vierten lo que filtran las muestras en sus correspondientes matraces (actividad 37 de la unidad didáctica – Anexo III –). Se pretende que se vean las diferencias de las capacidades de retención de las tres muestras y que se relacione el color del filtrado con el arrastre de partículas. Interesa simular la importancia del tipo de suelo en la mayor capacidad de retención de agua y sus relaciones con la fertilidad a través de la participación del agua en la disolución, mineralización y acceso de las sales minerales a las raíces de las plantas.

En esta primera secuencia relativa a la práctica se corresponde con el discurso del equipo de trabajo objeto de estudio en este caso de la respuesta a la primera de las dos cuestiones relativas al desarrollo de la práctica, ¿Cómo influyen los componentes del arcilla, limo y arena en la retención de agua? Esta secuencia es muy breve, pero tiene interés porque llegan a la conclusión partiendo de datos empíricos y, con la ayuda del profesor, relacionan los suelos con muchas arcillas de llanuras sedimentarias con la tendencia a inundarse, ubicando inundaciones en zonas de cultivo en los días en los que se estaba trabajando esa unidad. Las observaciones y preguntas sobre los suelos buscan que los estudiantes comprendan que los suelos que presentan una granulometría variada y equilibrada como suelo franco, facilitan la circulación del agua, la aireación del suelo y los procesos de lavado que lleven los nutrientes a las raíces de las plantas. Interesa que entiendan que el componente arcilloso es fundamental para impedir la pérdida de agua, dándole así tiempo para disolver las sales minerales que son ricas en este tipo de suelo, y para que se mantengan en disolución el tiempo suficiente para que las puedan captar las raíces. Por eso la pobreza en arcillas supone una escasez de sales disueltas en contacto con las raíces, lo que es un problema para la fertilidad por ser estas sales minerales nutrientes fundamentales para la fertilidad del suelo. Pero si aumentan fenómenos extremos, en especial alternando grandes inundaciones con periodos de sequías posteriores, como puede ocurrir en regiones de tendencia a este aumento de fenómenos extremos por cambio climático, los suelos tenderán a compactarse en exceso, a erosionarse, avanzando hacia la desertificación, con los correspondientes problemas para la fertilidad de los suelos de cultivo y los riesgos derivados para la seguridad alimentaria.

Por eso, aunque la primera secuencia sobre la práctica seleccionada comprende un pequeño fragmento de discurso, con escasa dimensión para el desarrollo de estrategias de argumentación y de desarrollos evolutivos de modelos mentales iniciales, se consideró igualmente en el estudio. El motivo es que en esa secuencia se recoge el discurso del equipo de trabajo objeto del estudio, en el que discuten y argumentan sobre la capacidad de retención de la arcilla aplicando el modelo microscópico coherente expresado en la figura 4.2.12. Interesa analizar la argumentación y modelización para buscar orientaciones de la aplicación de ese modelo hacia la introducción en el currículo de los últimos cursos de la secundaria básica de estos contenidos sobre las relaciones entre los eventos extremos del cambio climático con la estructura de los suelos de cultivo.

4.2.4.1 Categorización de la argumentación sobre la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo

En la figura 4.2.13 se presenta la transcripción categorizada de la secuencia:

Agustín	<i>¡Profesor! Esto no vierte. Es totalmente hermético.</i>	Dato empírico	CP-EX
Profesor	<i>¡Manchasteis la mesa! ¡Avisé que no la mancharais y mirad como la pusisteis! ¿Qué problema tenéis?</i>	Incodificable	GP-DI+PR
Agustín	<i>Esto no va.</i>	Dato empírico	CP-PR
Profesor	<i>Bien, pues es por algo que tenéis que aprender</i>	Desafío	GP-AD
Agustín	<i>Es que eso al ser tan pequeño hace de tapón.</i>	Justificación y conocimiento	CP-EX

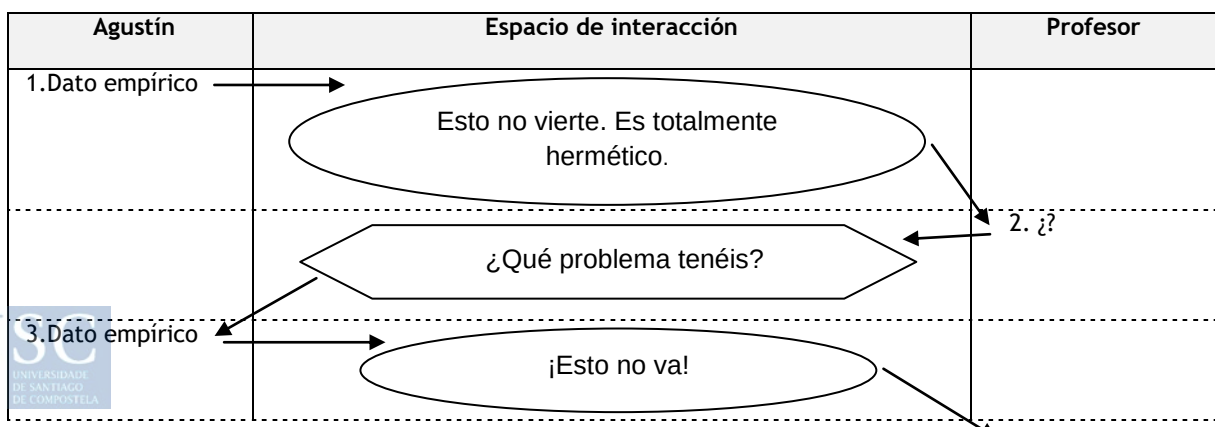
		básico	
Profesor	<i>En Extremadura hay mucho de eso (señalando la muestra de arcilla, y haciendo referencia indirecta a los comentarios de clase en relación con las recientes inundaciones en esta comunidad).</i>	Datos suministrados	GP-IF
Agustín	<i>Por eso cuando cae la gota fría se inunda todo.</i>	Conclusión	CP-E·X
Profesor	<i>¡Efectivamente! Acaban de tener grandes inundaciones con la gota fría.</i>	Acuerdo	GP-AD

Figura 4.2.13. Categorización de la argumentación y de las interacciones en los turnos de intervención durante la observación de la comparación de la filtración en las tres muestras de componentes claves para la fertilidad del suelo: arena, arcilla y humus.

El discurso parte de la evidencia empírica de que la muestra arcillosa no filtraba el agua, cuando si lo hacían las muestras de arena y de limo. Eso lleva a Agustín a actuar una vez más como líder del grupo y demanda la ayuda del docente. Esto motiva al profesor para retar a los estudiantes en la búsqueda de la explicación. Como tenían el modelo microscópico coherente consolidado en la sesión anterior, la justificación de la no filtración coincide con el conocimiento básico edafológico, cuando expresa “*Es que eso (se entiende que referido a la representación mental implícita de partículas) es tan pequeño que hace de tapón*”. Esta argumentación puede considerarse como una prueba de la utilidad del desarrollo de capacidades de argumentación para llegar a modelos mentales que dejen un buen desempeño en este tipo de interpretaciones que requiere la introducción en el currículo de la enseñanza secundaria básica de las relaciones entre la fertilidad del suelo y el cambio climático. Este nivel de desempeño elevado en el uso del modelo microscópico coherente conseguido en la argumentación anteriormente analizada queda reafirmado cuando el estudiante relaciona esta retención de la arcilla con la inundación con la reciente gota fría que había afectado a Extremadura.

4.2.4.2 Mapa del discurso de la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo

El proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implícito en esta tercera secuencia del caso se representa en la figura 4.2.14, en forma de “mapa de discurso”.



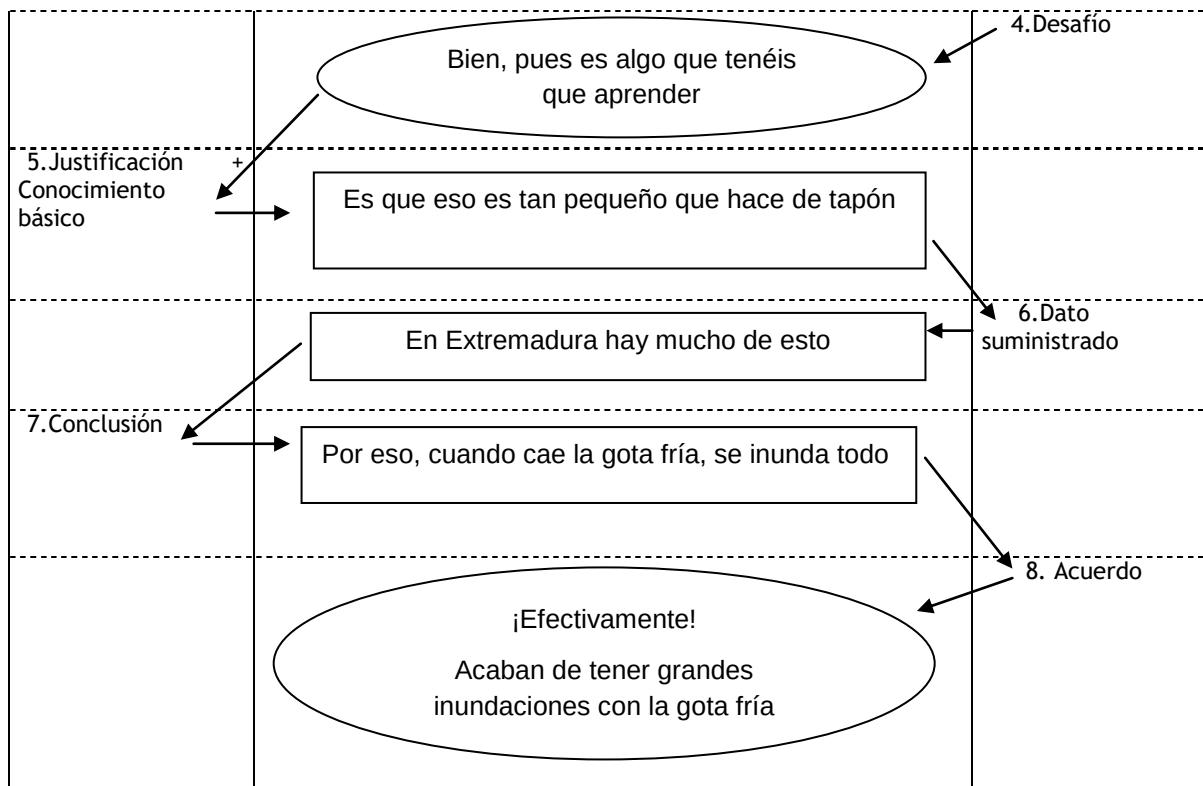


Figura 3.2.14. Mapa del discurso de la tercera secuencia y primera relativa a la práctica de laboratorio de filtración en las tres muestras: arena, humus y arcilla.

Se trata de una secuencia Consensuada si solo se considera la intervención de los cuatro miembros del grupo, pero en realidad viene a ser Receptiva (Hogan et al., 2000) pero de carácter discente – docente, porque intervienen únicamente el profesor y Agustín. La intervención del docente es sustantiva para la construcción del argumento. Esta se produce de forma natural al ser demandada su intervención por Agustín.

4.2.4.3 Argumentación en la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo y valoración del grado de validez de lo argumentado

El argumento contenido en esta tercera secuencia se representa en un esquema de Toulmin en la figura 3.2.15. Este argumento fue construido por dos personas: Agustín y el profesor. En este caso el profesor condiciona mucha el discurso, pues además de movilizar las ideas del alumno que pide ayuda, mediante el planteamiento de desafíos, y relaciona la observación en la práctica de laboratorio con los datos aportados en clase, en relación a las recientes inundaciones de Extremadura. De esta forma se termina de dirigir al alumno a la conclusión final, obteniendo así el grupo la explicación que demandaba, y relacionando esta argumentación con la realizada en la segunda cuestión, tanto en la argumentación del grupo de trabajo como en la puesta en común.

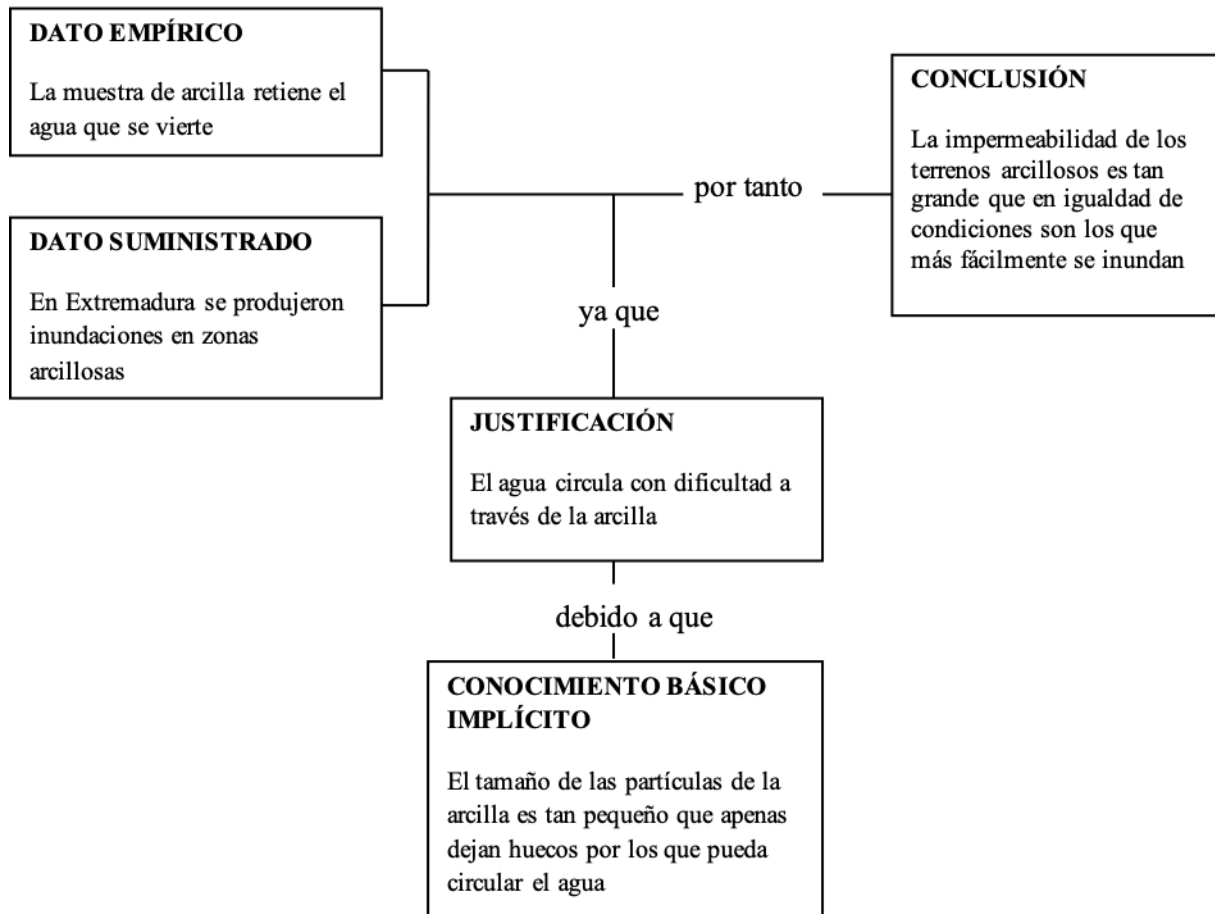


Figura 4.2.15 Representación del argumento extraído argumento de la comparación de las capacidades de retención de las tres muestras.

Aunque la argumentación resulta bastante coherente, el conocimiento básico no está demasiado claro, o eso parece inferirse a partir de la expresión: “*Es que eso al ser tan pequeño (¿partículas?) hace de tapón*”. Resulta curioso que no aparezca una relación explícita con el argumento anterior a partir del cual evolucionó el modelo, pero este conocimiento básico inferido se sostiene sobre el modelo que se aplicó en el argumento anterior (figura 4.2.12). A pesar de que la secuencia es muy simple, se le otorga valor para el estudio por el impacto de las evidencias empíricas en relación con el modelo extraído de la argumentación en la respuesta a la segunda cuestión de este caso. Esta valoración es de seis (6) puntos sobre el total de nueve y resulta de estas valoraciones de las tres dimensiones contempladas en la rúbrica para valorar la calidad de los argumentos expresado en la tabla 3.1 del apartado de la Metodología:

1. Hechos: 1b. Se apoya en hechos empíricos con coherencia científica: 2 puntos.
2. Justificación: 2b. La concordancia entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimiento básico: 2 puntos.

3. Conclusión: 3b. Del enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento: 2 puntos

4.2.4.4 Modelización en la respuesta relativa a la retención del agua en la práctica de las tres muestras de suelo y valoración del grado de validez del modelo

En relación a la modelización mediante esta argumentación se encontró el uso de un modelo mental eficaz, porque se aplica el obtenido en la respuesta a la segunda cuestión, tal y como se pretendía. Por eso la valoración es de seis (6) puntos del total de ocho, que resulta de la obtenida en las dos dimensiones:

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1b. Expresa en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y/o riguroso, pero comprensible y coherente con el modelo conceptual: 3 puntos.
2. Evolución y madurez: 2b. La concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con el conocimiento básico de la ciencia: 3 puntos.

En cuanto al método de modelización se trata de un evento que exige la aplicación del modelo obtenido en la argumentación de la respuesta colectiva a la segunda cuestión de este caso. Por tanto, es conocido el método de modelización y aquí se prueba su éxito. Se consiguió así el objetivo de aplicar el modelo desarrollado con la argumentación sobre la segunda cuestión (figura 4.2.12) para explicar las evidencias empíricas de la comparación de la medida del agua que se filtra por cada uno de los tres tipos de muestras. Este nivel de desempeño de la aplicación del modelo microscópico coherente, representado por la figura 4.2.12, se evidencia con la analogía del efecto tapón y de la explicación de las inundaciones por gota fría en lugares con suelos ricos en arcilla.

4.2.5 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la comparación de colores en el agua filtrada en la práctica

Esta argumentación sobre el color que presenta el agua que se filtra, según el tipo de muestra que atraviesa, busca que se hagan conscientes de la disolución y arrastre de fertilizantes del suelo para que entiendan que cuando el agua atraviesa suelos arenosos lo hace rápido y pasa en muy poco tiempo del suelo a la capa freática, y desde allí a los ríos. Por el contrario, cuando atraviesa partículas arcillosas lo hace lento y disuelve nutrientes. Interesa que entiendan que los fertilizantes proceden de la fracción arcillosa y del limo, así como de la mineralización del humus, mientras que el agua que pasa por la arena se filtra muy rápido, recoge pocos nutrientes, a no ser que sean añadidos, como se hace con el abonado inorgánico, en cuyo caso los lleva rápido a la capa freática. En todo caso interesa que entiendan que los suelos arenosos no dejan los nutrientes mucho tiempo a disposición de las raíces y los de partículas más finas (limos y arenas) si los dejan, pero pueden presentar dificultades para la circulación del agua y del aire.

De nuevo nos encontramos ante una pregunta cuya respuesta requiere de un modelo complejo donde lo macroscópico y lo microscópico se mezclan. Por ese motivo se planificó una puesta en común de las respuestas de los ocho equipos de trabajo. Eso conlleva un

planteamiento de los dos niveles de análisis que se usaron en la respuesta a la pregunta anterior: análisis del discurso de la argumentación del equipo de trabajo y también del discurso de la puesta en común.

4.2.5.1 Categorización del discurso sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

4.2.5.1.1 Categorización de la argumentación del grupo de trabajo sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

La transcripción de la figura 4.2.16 se corresponde con el discurso del equipo de trabajo objeto del estudio cuando discuten la relación de los colores con la capacidad de retención.

Agustín	<i>¿Existe alguna relación entre los distintos colores del agua filtrada y la capacidad de retención? Cuanto más oscuro menos filtra</i>	Dato hipotético	AA-EX
Álvaro	<i>Sí, en el humus se filtra la tierra y le da un color más oscuro</i>	Justificación	AG-EX
Antonio	<i>¿Por qué dices eso?</i>	Desafío	AA-PR
Agustín	<i>¿El color del agua tiene relación con la capacidad de filtrar? ¿Si la que filtra más tiene color más oscuro o más claro? ¿Entiendes?</i>	Desafío	AA-EX
Álvaro	<i>Depende del color del suelo</i>	Conclusión	AG-EX
Agustín	<i>¡Claro! ¡Ahí está!, pero el color de la tierra depende de la capacidad de filtrar</i>	Dato hipotético	AG-EX
Álvaro	<i>Sí</i>	Acuerdo	AG-PS
Agustín	<i>¿Y por qué? Dime tu por qué</i>	Desafío	AA-PR
Álvaro	<i>Está es blanca y pasa más agua (referido a la filtrada a través de la arena)</i>	Dato empírico	AG-EX
Agustín	<i>Sí, esta es un poco más oscura y también pasa, pero es en la que pasa menos agua (referido a lo filtrado a través de la arcilla y refiriéndose con oscuro al color de la arcilla que tiene el agua filtrada). Y esta es más clara que esta (compara el agua que se ha filtrado a través de la arcilla con la que lo ha hecho a través del humus), y sin embargo en la más clara casi no pasa nada (refiriéndose ahora en oscuro al color negro que es más visible en la filtrada a través del humus que en la del color de las arcillas). Estamos en el mismo punto que cuando empezamos</i>	Datos empíricos y Conclusiones	AG-EX
Álvaro	<i>Esta respecto de esta (indicando que se compare con la de la muestra de la arena).</i>	Desafío	AG-EX
Agustín	<i>Pero aquí dice todas en general</i>	Desafío	AG-EX

Álvaro	<i>Pues quedé en blanco. Que la arcilla retiene más agua que los otros dos</i>	Conclusión	AG-EX
Agustín	<i>Sí, pero aquí dice que se relacione el color del agua con la capacidad de retención</i>	Desafío	AG-PR
Álvaro	<i>Esta es más oscura (humus) y retiene más agua que esta (arena)</i>	Conclusión	AG-EX
Agustín	<i>Sí, pero esta es más clara (arcilla) que esta (humus) y retiene más agua (refiriéndose a la arcilla).</i>	Conclusión	AG-PR
Álvaro	<i>¡Esto es muy difícil de hacer! (Dirigiéndose al portavoz del grupo de al lado)</i>	Incodificable	AO-PS
Agustín	<i>Pusisteis que si o que no chaval (Dirigiéndose al portavoz del grupo de al lado).</i>	Desafío	AO-PR
Portavoz-8	<i>¿Qué si o que no a qué?</i>	Desafío	AO-PR
Agustín	<i>Te pregunto si existe alguna relación, chaval, ¿sí o no?</i>	Desafío	AO-PR
Portavoz-8	<i>Sí</i>	Conclusión	AO-EX
Álvaro	<i>¿Se relaciona algo?</i>	Desafío	AO-PR
Agustín	<i>¡Atiende!</i>	Incodificable	AO-I
Portavoz-8	<i>Que los tres son descompuestos por el agua</i>	Justificación	AO-EX
Agustín	<i>Escucha, mira, escucha...Este filtra...</i>	Dato empírico	AO-EX
Portavoz-8	<i>Este es el que más rápido filtra (arena) y este es el del medio (humus)</i>	Dato empírico	AO-EX
Agustín	<i>Entonces el que menos filtra tendría que ser aún más oscura</i>	Oposición justificada	AO-EX
Portavoz-8	<i>¡No!</i>	Oposición	AO-PS
Agustín	<i>¿Cómo qué no? Esta filtra más (humus) y esta menos (arcilla), entonces tendría que ser esta más oscura (arcilla) y esta menos (humus). La arena deja muchos huecos y entonces el agua corre y se filtra</i>	Oposición justificada y conclusión	AO-EX
Portavoz-8	<i>Relaciónalo con los colores del agua</i>	Desafío	AO-PR
Agustín	<i>Ya voy</i>	Incodificable	AO-I
Portavoz-8	<i>El color del agua que filtra la arcilla es limpia ya que la arcilla es compacta y desprende materiales ya que son partículas finas y arrastran mucha "arena" y el agua del humus es de color oscura, filtrando rápido, pero el agua no le arranca muchos materiales</i>	Justificación	AO-EX
Álvaro	<i>Pues puede ser</i>	Incodificable	AO-PS
Portavoz-8	<i>No es que pueda ser, es que es</i>	Acuerdo	AO-PS
Agustín	<i>El color, no lo que lleva, tiene que relacionarse con el color, relaciónalo con el color del agua filtrada ¡O</i>	Desafío	AA-DL

	<i>estás sordo!</i>		
Portavoz-8	<i>Y por eso no es muy oscura</i>	Conclusión	
Agustín	<i>¡Profesor!</i>	Incodificable	CP-I
Profesor	<i>A ver Agustín, dime</i>	Incodificable	IN-PR
Agustín	<i>Aquí dice que relación es la capacidad de filtrar con el color del agua. ¿Tenemos que poner si hay alguna relación?</i>	Incodificable	CP-PR
Profesor.	<i>Claro. De los tres tipos de suelos, aquel en el que predomina la arcilla, ¿retiene más o menos que los otros dos? y ¿qué color tiene el agua que se filtra a través de ella?</i> <i>(.....)</i>	Desafío	GP-AD
Álvaro	<i>Las partículas que lavan, las negras, que arrastran</i>	Dato hipotético	AG-EX
Agustín	<i>Aquí pone color, no partículas</i>	Oposición	AA-PS
Álvaro	<i>Pero son las que le dan color</i>	Justificada	AA-EX
Agustín	<i>Sí, pero aquí te dice que tiene que ver el color con la capacidad de filtración</i>	Oposición	AA-PS
Antonio	<i>¡A ti que te importa!</i>	Incodificable	AA-DL
	<i>... (Al terminar la puesta en común)</i>		
Agustín	<i>Juan (Portavoz-8) ¿qué has dicho antes?, ¿cuánto menos agua se filtre más oscura es?</i>	Desafío	AO-PR
Portavoz-8	<i>Sí</i>	Conclusión	AO-PS
Agustín	<i>Esto no pasa, porque aquí, en la del humus pasa más agua que en la B (arcilla) y es más oscura</i>	Oposición justificada	CP-PS
Profesor	<i>Diselo a Juan</i>	Incodificable	IN-DI
Agustín	<i>Juan mira, en la del humus pasa más agua que en esta (arcilla)</i>	Dato empírico	AO-EX
Portavoz-8	<i>¿Qué?</i>	Incodificable	AO-I
Agustín	<i>En esta (humus) pasa más agua que en esta (arcilla) que es menos oscura</i>	Justificación	AO-EX
Portavoz-8	<i>Pero yo dije del tamaño y de la compactación de las partículas</i>	Oposición justificada	AO-EX
Agustín	<i>Vale, tú has dicho que cuánto más agua pasa más clara es, ¿no?</i>	Desafío	AO-PR
Portavoz-8	<i>Aquí las partículas son más grandes y están menos juntas y esto favorece el paso del agua y ...</i>	Justificación y conocimiento básico	AO-ES
Agustín	<i>Vale, ahora acabas de decir el contrario que has dicho hace un poco. Mira, has dicho que cuanta más agua pasara...</i>	Oposición	AO-PS

Antonio	<i>Lo dejamos aquí</i>	Incodificable	AG-DL

Figura 4.2.16. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en el equipo de trabajo en el análisis de las diferentes velocidades de filtración en las muestras de arcilla, humus y arena.

Agustín tiene dificultades de aprendizaje para entender el proceso porque no dispone de un modelo mental inicial satisfactorio sobre la naturaleza corpuscular de la materia para interpretar las disoluciones, y el adquirido sobre la estructura discontinúa de la materia (figura 4.2.12) no le resulta aplicable a la interpretación de las disoluciones. Posiblemente no entiende que las partículas de la arcilla pueden ser atraídas con más intensidad por el agua que entre ellas mismas, pasando así a la red acuosa, lo que justifica que la disolución tenga el color homogéneo que le dan las partículas arcillosas disueltas, por lo que la disolución adquiere el mismo color de la muestra, pero plasmado en la mezcla homogénea traslúcida de la disolución. Ese color en un líquido homogéneo en cuanto a transparente no es percibido por Agustín, lo que puede ser una prueba de las dificultades de aprendizaje sobre disoluciones encontradas por López (2000). Este estudiante se centra, en su argumentación comparativa, más en la naturaleza del sólido y no atiende a su interacción con el disolvente, una dificultad de aprendizaje también encontrada en estudios sobre las dificultades de aprendizaje de las disoluciones como los estudios de Blanco y Prieto (1994). También Álvaro muestra dificultades para argumentar de forma satisfactoria en la interpretación del color del agua filtrada con la disolución de arcillas. Por eso posiblemente centran la atención en el arrastre de estructuras macroscópicas del humus que quedan en suspensión en la mezcla heterogénea sólido-líquido, formada a partir del agua que atravesó el humus. Eso puede explicar que para ellos el color a contemplar solo sea el negro, porque en el agua que se filtra a través del humus se visualizaban restos en suspensión de color negro y son de naturaleza macroscópica. El profesor no parece ser consciente de esta dificultad de aprendizaje debido al modelo mental inicial que integra el arrastre y no la disolución.

Agustín también le pide ayuda al portavoz del grupo 8 una vez que nadie del grupo le ayuda a interpretar la incoherencia que encuentra al razonar que el filtrado a través del humus tiene más color (más negro) que el filtrado a través de la arcilla. No entiende que el que retiene más agua (arcilla) no presente el color más negro, mientras que el más traslúcido (él dice más clara), es el agua filtrada a través de la arena, que es la muestra que retiene menos, y no tiene color. En su análisis macroscópico entiende que el color a seguir es el negro que es el color de los fragmentos de humos que ve en suspensión debido al arrastre que hace el agua cuando atraviesa el humus. El portavoz del grupo 8 (que está al lado del que es objeto de estudio) parece ser consciente de que Agustín está confundiendo el arrastre de materiales con la disolución, lo que parece indicar que ya tiene un modelo mental inicial corpuscular de las disoluciones, distinguiendo la disolución de partículas en la arcilla con el arrastre de porciones de humus. Al menos eso parece desprenderse del enunciado de su explicación: “*El color del agua que filtra la arcilla es limpia* (no dice transparente y habla de color, lo que hace pensar en intuición de disolución homogénea) “*ya que la arcilla es compacta y desprende materiales ya que son partículas finas*” (esto parece referirse a que al ser muy finas las partículas de la arcilla dejan poco espacio y si dejan de estar atraídas entre ellas es porque las atrae más fuerte el disolvente, pasando a la red acuosa) y *arrastran mucha arena* (este error conceptual no parece ser una idea alternativa en relación al modelo corpuscular implicado en la disolución, porque parece que por arena se refiere a las partículas de arcilla y por arrastre a la disolución) “*y el agua del humus es de color oscura, filtrando rápido, pero el*

agua no le arranca muchos materiales’’ (con esto se estaría refiriendo a que no disuelve, sino que la materia macroscópica filtrada va en suspensión).

En todo el caso Agustín no logra integrar la disolución en el modelo mental con el que está argumentando, buscando respuesta a la cuestión. Por eso para él el que tiene más color es el negro, que es el que tiene más sólido en suspensión. Esto coincide con lo encontrado por Blanco y Prieto (1994) de que la gran mayoría de los estudiantes de entre 12 y 16 años, creen que la disolución es debida a la naturaleza intrínseca del soluto. Por eso parece que el modelo mental inicial que aplica no interpreta la interacción del sólido con el disolvente que motiva la disolución, quedando su atención centrada en el sólido arrastrado. Su modelo mental no logra evolucionar hacia el cambio conceptual que diferencie la disolución del arrastre de sólidos en suspensión. Eso podría explicar que no logre interpretar porque las dos muestras de más rápida filtración (arena incolora y humus con fragmentos macroscópicos negros) tengan tantas diferencias. Posiblemente entienda que para encontrar una relación debería visualizar esas diferencias que aprecia (centrando su atención en los fragmentos macroscópicos negros) entre el líquido filtrado a través de la arena (menor retención) y el filtrado a través de la arcilla (mayor retención), una interpretación coherente si no tiene presente una representación mental sobre las disoluciones como mezclas homogéneas. Comprueba que el agua que pasa a través de la arena es del mismo color que cuando se vertió en la muestra (incolora en ambos casos), y tiene retención mínima. También observa que la que atravesó la arcilla tiene retención máxima. Al centrarse su atención en los sólidos en suspensión, identifica el agua filtrada con más color en la que pasó a través del humus, con retención semejante a la que atravesó la arena. La lógica de que exista relación entre la filtración/retención con el color lo lleva a esperar un color más negro (propio de los restos del humus en suspensión), en el agua que atravesó la arcilla (mayor retención). Por tanto, con la aplicación de este modelo mental, que es coherente en estos términos de observación de los sólidos macroscópicos, y por tanto resistente al cambio, no encuentra una relación entre la retención y el color, motivo por el que interesa el análisis del discurso de la puesta en común sobre la respuesta a esta cuestión para ver si ha generado oportunidades para la necesaria evolución de este modelo mental.

4.2.5.1.2 Categorización de la argumentación en la puesta en común sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

La transcripción de la figura 4.2.17 se corresponde con el discurso de la puesta en común sobre la relación de los colores con la capacidad de retención. Esa puesta en común significa una oportunidad para plasmar la argumentación colectiva de la clase sobre la relación de los colores del filtrado con la capacidad de retención. Interesa analizar en esta puesta en común la validez de argumentos y modelos de los diferentes grupos, tomando como referencia el modelo de ciencia escolar que se necesita, en ese nivel de competencia curricular, para comprender la disolución de sales minerales necesarias para la nutrición de los vegetales.

Profesor	<i>¿Existe alguna relación entre el color del filtrado y la capacidad de retención?</i>	Desafío	GC-DP
Portavoz 1	<i>Si, porque el agua filtrada arrastra las partículas más diminutas</i>	Justificación	AC-EX
Profesor	<i>¿Eso es todo lo que tenéis? ...Grupo 2</i>	Desafío	GC-DP
Portavoz 2	<i>Cuanto menos materiales arrastra el agua, más limpia sale</i>	Justificación	AC-EX
Profesor	<i>Entonces según el grupo 2 el color del filtrado está relacionado con los materiales arrastrados. A ver, otra idea importante es la aportada el grupo 3, un poco más alto...</i>	Desafío	GC-DP
Portavoz 3	<i>Pues el suelo arenoso deja pasar agua por los poros y el arcilloso no la deja pasar, tapa los poros y el agua que logra pasar lo hará arrastrando materiales</i>	Justificación y Conocimiento básico	AC-EX
Portavoz 4	<i>Cuanto más oscuro es el suelo, menos clara es el agua</i>	Justificación	AC-EX
Agustín	<i>Yo digo que no hay relación entre la capacidad de retención y el color. Aquí en la que pasa más es clara, pero en la que pasa menos no es más oscura, porque en la del barro no pasa ninguna y la que pasa es clara</i>	Oposición justificada	AC-EX
	<i>(.....)</i>		
Portavoz 8	<i>El color del agua depende del tamaño de las partículas que forman la muestra y de la compactación de las partículas. Si son finos los materiales y están muy compactos, mayor capacidad de retención del agua. Cuanto más grandes son los materiales y menos compactos: en la arena que son materiales intermedios y en la tierra o humus que son materiales pequeños, pero poco compactos, es mayor el arrastre</i>	Justificación y conocimiento básico	AC-Ex
Profesor	<i>¡Aja! Sin embargo, aquí se afirma el contrario de este grupo, porque tú dices que a más filtrado menos color tendrá</i>	Desafío	GC-DP
Portavoz 8	<i>¡Vale!</i>	Conclusión	AC-EX

Figura 4.2.17. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la puesta en común relativa a la tercera cuestión de este estudio de caso, centrada en la práctica.

Los portavoces de los grupos 1 y 2 trasladan argumentos débiles, porque no concluyen nada en relación a la comparación de colores y solo hablan de arrastre. El portavoz del grupo 3 usa el modelo representado en la figura 4.2.12 en su argumentación “*Pues el suelo arenoso deja pasar agua por los poros y el arcilloso no la deja pasar, tapa los poros y el agua que logra pasar lo hará arrastrando materiales*”. También aquí aparece el arrastre de materiales y no incluyen en su argumento los conceptos de disolución, ni siquiera partículas. Si parece tener una representación mental implícita de la concepción discontinua de la estructura de la materia en el caso de la arena, aunque queda en duda que sea así en el caso de las arcillas.

El portavoz del grupo 4 expresa un argumento muy simple, que encuentra una conclusión lógica a nivel de la observación macroscópica cuando expresa: *“Cuanto más oscuro es el suelo, menos clara es el agua”*. En este caso tampoco se está usando un modelo corpuscular de la materia en interacción con el disolvente y por tanto el modelo que está sacando esa conclusión por la observación macroscópica de restos de humus la mezcla heterogénea con sólidos arrastrados del humus por el agua que se filtró a través del humus. Sin embargo, van a sacar una conclusión posible con ese modelo, pero que no responde a esa cuestión, porque no relaciona el color con la retención, sino que relaciona el color de la muestra con el color del agua filtrada, debido a los fragmentos de humos en suspensión. Se busca la relación entre retención y color el grupo de trabajo objeto de este estudio, que también está usando la misma representación mental que excluye la disolución. Pero como ese modelo macroscópico no permite una interpretación coherente, el grupo no encuentra relación tal y como se muestra en lo que comunica Agustín en la puesta en común: *“Yo digo que no hay relación entre la capacidad de retención y el color. Aquí en la que pasa más es clara (referido a la muestra de arena), pero en la que pasa menos no es más oscura (referido a la muestra de arcilla), porque en la del barro no pasa ninguna y la que pasa es clara”*. En esta última referencia alude a la muestra de arcilla, que no tiene materia en suspensión propia del humus, y por tanto está ausente el color negro, pero siendo traslúcida, se visualiza que es una mezcla homogénea con arcillas porque presenta el color de la materia que atravesó, aunque esto no lo perciben porque sigue permitiendo pasar la luz de forma homogénea por todo el volumen. Lo que ocurre en la arcilla es que hay partículas disueltas, dando una disolución homogénea transparente a la luz, pero de color arcilloso. Como es una mezcla homogénea que deja pasar la luz y en la que no se aprecian restos en suspensión, el modelo macroscópico centrado en la materia sólida en suspensión no toma en consideración su color.

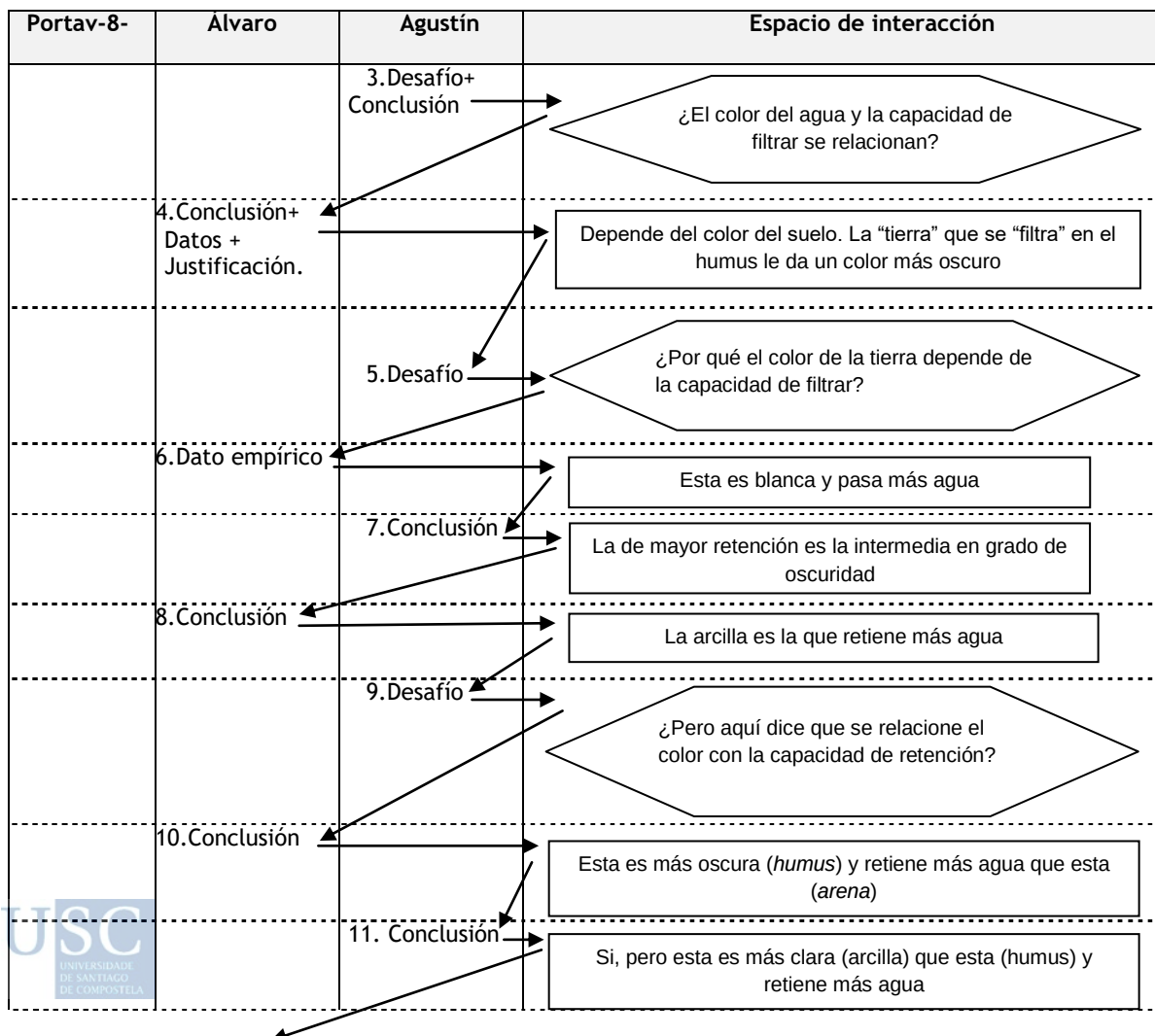
El profesor encuentra en el modelo del grupo 8, quien fue requerido antes por el líder del grupo de trabajo objeto de estudio para que les ayudara, una argumentación más válida. Posiblemente considere que contenga un modelo mental que le permita interpretar el concepto de disolución de sales minerales necesarias para las plantas. Al menos eso parece desprenderse de este enunciado: *“El color del agua depende del tamaño de las partículas que forman la muestra y de la compactación de las partículas. Si son finos los materiales y están muy compactos, mayor capacidad de retención del agua. Cuanto más grandes son los materiales y menos compactos: en la arena que son materiales intermedios y en la tierra o humus que son materiales pequeños, pero poco compactos, es mayor el arrastre”*. En esta expresión plasma bien la naturaleza discontinua de la materia y la relación de diferentes tamaños de los poros con la velocidad de filtración, que es directamente proporcional al tamaño de partículas y poros, e inversamente proporcional a lo que se refiere como compactación. Sin embargo, no entra en la relación con el color, que curiosamente si hace en la ayuda que le pide a Agustín y que el profesor conoce por las notas de campo del observador. Esa representación de disolución podría estar presente cuando le dice, en sus orientaciones que le pide Agustín: *“El color del agua que filtra la arcilla es limpia (posiblemente referido a transparente y uniforme) ya que la arcilla es compacta y desprende materiales ya que son partículas finas (...) y arrastran mucha arena (error conceptual, aunque parece referido a esas pequeñas partículas que dice que dicen que se desprenden) y el agua del humus es de color oscura, filtrando rápido, pero el agua no le “arranca” (con este término parece diferenciar la disolución anterior con esta suspensión de sólidos procedentes del humus) muchos materiales”*. Parece que se refiere a la diferencia de la mezcla heterogénea del humus de la disolución, posiblemente porque advierte la heterogeneidad de la mezcla en

el filtrado a través del humus, donde se visualizan esqueletos de restos de vegetales, resultantes del proceso de humificación, en suspensión, frente a la homogeneidad de la disolución a través de arcillas. Todos perciben en la mezcla heterogénea que procede del filtrado a través del humus los restos sólidos macroscópicos de humus entre los que se ve disolvente sin color. A excepción del grupo 8, los demás grupos que participaron en la puesta en común no evidencian que perciben el color de la disolución del agua que se filtró a través de la arcilla. El grupo 8 si parece percibir esto y eso podría deberse a que están usando una representación mental que diferencia la disolución del arrastre de materia en suspensión.

4.2.5.2 Mapa del discurso sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

4.2.5.2.1 Mapa del discurso del grupo de trabajo sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

El proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que está implícito en la respuesta de esta tercera cuestión, en este caso referido a la práctica de laboratorio, se representa en la figura 4.2.18, en forma de “mapa de discurso”.



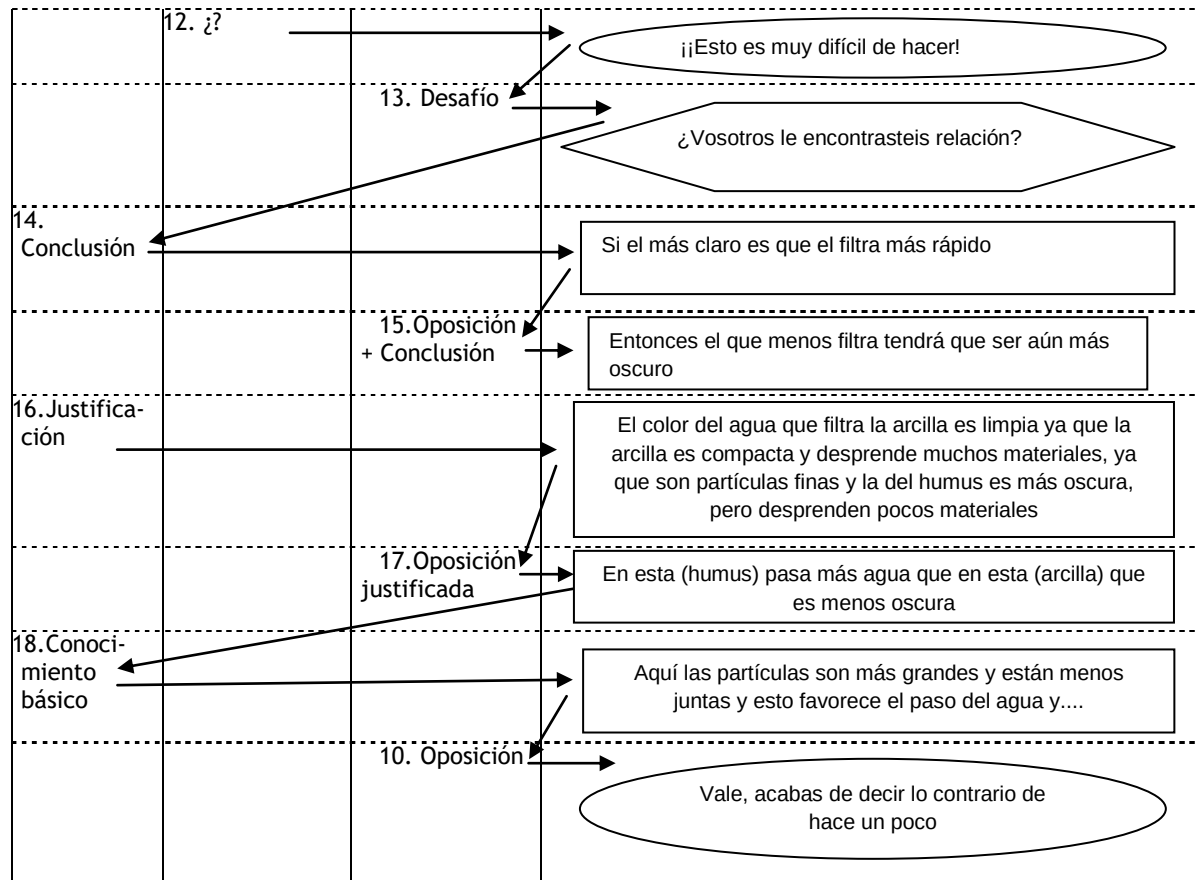


Figura 4.2.18. Mapa del discurso de la respuesta a la tercera cuestión formulada comparando las mezclas que procede de los filtrados por cada uno de los tres tipos de materiales del suelo.

Se trata de una secuencia Receptiva (Hogan et al., 2000) a la que contribuyen dos participantes: Agustín y Álvaro. Lo hacen sin completar un argumento que dé respuesta a la pregunta, sino que su argumentación concluye que la respuesta a la cuestión es que no existe ninguna relación. Como ya se comentó, a esa conclusión parece que llegan por no tener una adecuada comprensión por un disponer una representación mental basada en un modelo corpuscular de la materia.

El modelo que manejan es macroscópico y se centra en el arrastre de materia sólida, evidente por su visualización en el humus, siendo este modelo de suspensión el que identifica el color con el tipo de mezcla heterogénea constituida por pequeñas partículas sólidas procedentes del humus. Se fijan en los fragmentos de humus visibles en la mezcla heterogénea con el agua y no contemplan la interacción del agua en términos de disolución. Eso los lleva a centrar su atención sobre el color en la fracción sólida negra visible en la mezcla heterogénea del agua que se filtró a través del humus. No tienen presente que la materia sólida de las muestras pueda disolverse en medio líquido, en el que solo contemplan su dispersión en suspensión y su arrastre a medida que se filtra por la muestra. Se visualiza este modelo mental inicial en la expresión de Álvaro: “*Depende del color del suelo porque la “tierra” que se “filtra” en el humus le da un color más oscuro*”. Busca una apoyatura lógica en la comparación con el suelo arenoso “*Esta es más oscura (humus) y retiene más agua que esta (arena)*”. Sin embargo, Agustín, que a nivel de la representación metal implícita, parece

compartir modelo mental con Álvaro, encuentra una incoherencia para que exista relación según lo expresando: *“Entonces el que menos filtra (referido a la muestra de arcilla) tendrá que ser aún más oscuro”*. Al no encontrar oposición ni aportaciones en base a la incoherencia, recurre al portavoz del equipo de trabajo que tenía más cerca (grupo 8), recibiendo la justificación que su portavoz expresó en estos términos: *“El color del agua que filtra la arcilla es limpia ya que la arcilla es compacta y desprende muchos materiales, ya que son partículas finas y la del humus es más oscura pero desprenden pocos materiales”* Esta explicación no parece satisfacer a Agustín, posiblemente por la menor evolución de su modelo mental hacia la naturaleza corpuscular que permita diferenciar la disolución que conduce a la mezcla homogénea de solutos con disolventes, de la suspensión de fragmentos de materia de humus que conduce a la mezcla heterogénea del sistema de agua con sólidos en suspensión visibles en lo que se filtró a través de humus. Sin embargo, cuando el portavoz del grupo 8 le dice *“Aquí las partículas son más grandes y están menos juntas y esto favorece el paso del agua y...”* parece que lleva a Agustín a introducir en la interpretación el modelo de la figura 4.2.12 que desarrolló su grupo en la argumentación para responder a la segunda pregunta. Por eso si acepta la aportación, pero posiblemente comunique que todavía no logró la evolución necesaria para interpretar las disoluciones cuando le dice al portavoz del grupo 8: *“Vale, pero acabas de decir lo contrario de hace un poco”* porque no existe no se visualiza esa contradicción en ningún momento.

4.2.5.2.2 Mapa del discurso de la puesta en común sobre la relación entre la filtración en cada muestra y el color del agua filtrada

El proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo que integra los argumentos de los diferentes grupos de trabajo sobre la búsqueda de relaciones sobre el color del agua filtrada en relación a la capacidad de filtración de las tres muestras implicada en la práctica de laboratorio, se representa en la figura 4.2.19, en forma de “mapa de discurso” de la puesta en común de la argumentación de los diferentes equipos de trabajos en sus respuestas a esta cuestión relativa a la práctica de laboratorio.

Portavoz 8	Agustín	Portavoz 4	Portavoz 3	Portavoz 2	Portavoz 1	Profesor	Espacio de interacción
						1.Desafío	¿Existe alguna relación entre el color del filtrado y la capacidad de retención?
					2.Dato hipotéticos+conclusión		Sí, porque el agua filtrada arrastra las partículas más diminutas
						3.Desafío	¿Eso es todo lo que tenéis? Grupo 2
				4. Cualificador modal			Cuanto menos materiales arrastra el agua, más limpia sale
						5.Dato hipotético	Idea importante del grupo 2, el color del filtrado está relacionado con los materiales arrastrados.
			6. Justificación				Pues el suelo arenoso deja pasar agua por los poros y el arcilloso no la deja pasar, tapa los poros y el agua que logra pasar lo hará arrastrando materiales
		7. Calificador modal					Cuanto más oscuro es el suelo menos clara es el agua
	8.Oposición +justificación						Yo digo que no hay relación entre la capacidad de retención y el color. Aquí en la que pasa más es clara, pero en la que pasa menos no es más oscura

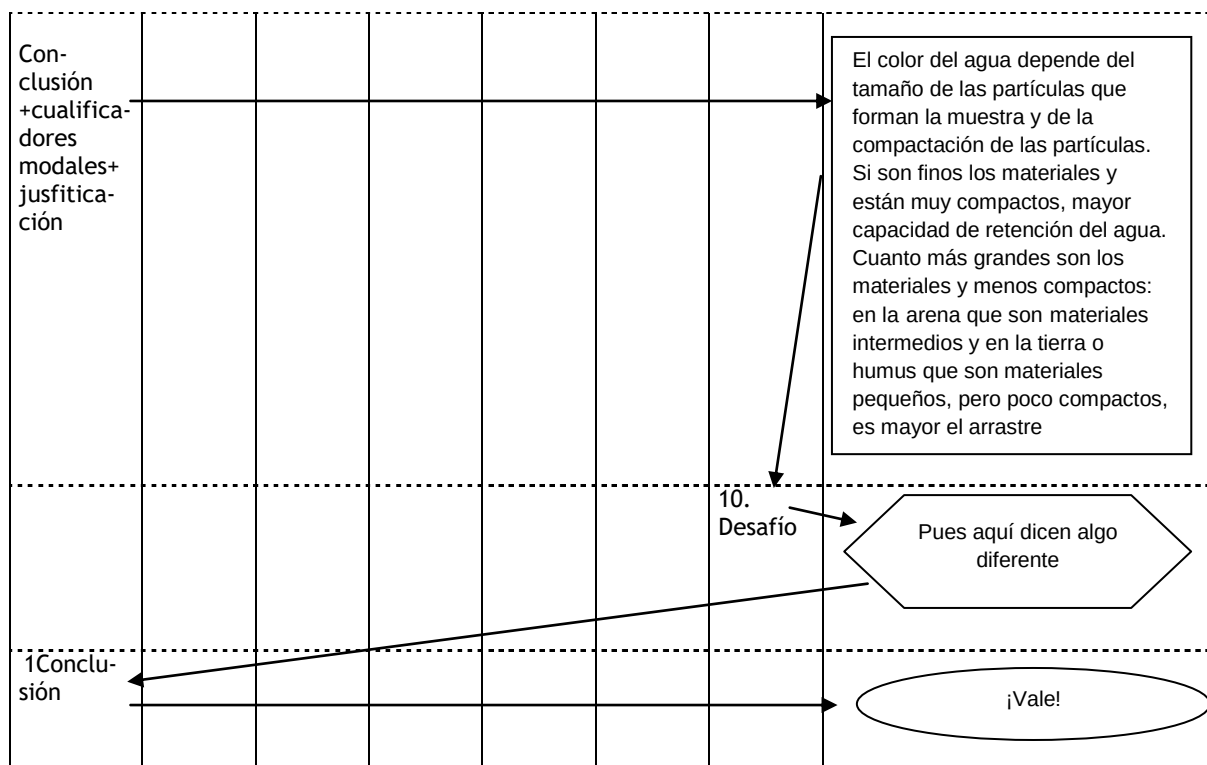


Figura 4.2.19. Mapa del discurso de la puesta en común sobre los argumentos de los equipos de trabajo sobre la relación de los colores del agua filtrada con la capacidad de filtración de las tres muestras.

Esta puesta en común expresada en la figura 4.2.19 quedó ampliamente discutida en el subapartado 4.2.5.1.2. En su desarrollo se visualizan los modelos de suspensión y la ausencia de una integración de la interacción del disolvente y las partículas del sólido que permita la disolución.

Los grupos 1, 2, 3 se centran en el color del sólido y en su argumentación destaca las evidencias de fragmentos sólidos de color negro en la mezcla heterogénea que resulta de recoger agua que se filtró a través del humus. Se observa una influencia del modelo microscópico coherente que evolucionó a la largo de la argumentación para responder a la segunda cuestión de este caso. En el avance del discurso solo se intuye que puede haber una cierta evolución hacia un modelo microscópico corpuscular que lo pueda ir aproximando a la explicación de las disoluciones de las sales minerales, en forma de representación implícita, cuando afirma que las partículas más finas, como la arcillas hay más compactación y dificultad para el paso del agua. Esto podría llevar a suponer que el color arcilla de la disolución homogénea que atraviesa esta muestra, lo que puede orientar hacia un modelo corpuscular de la materia que pueda llevar a entender la importancia de la disolución de sales minerales para la fertilidad.

4.2.5.3 Esquema de los argumentos y valoración de los argumentos contenidos en el discurso sobre las respuestas a la tercera cuestión de este caso.

La argumentación del equipo de trabajo objeto de este estudio tiene elementos claramente diferenciadores de los que se exponen en la puesta en común, por cuanto que en esa puesta en común este fue el único equipo que negó la relación entre el color con la retención, y encontró un enfoque lógico dentro del modelo que usaron que explica la suspensión que lleva a mezcla heterogénea y no la disolución que lleva a mezclas homogéneas.

4.2.5.3.1 Esquemas de Toulmin y valoración de los argumentos del equipo que responden sobre las posibles relaciones entre el color del agua que se filtró con la retención

La secuencia transcrita y categorizada en la figura 4.2.16 y esquematizado su discurso en la figura 4.2.18 contiene dos argumentos porque se llega a conclusiones diferentes, cada una de ellas tomando diferentes datos empíricos diferentes. Pero quedan muy relacionados, de tal forma que la conclusión del primero acabó convirtiéndose en justificación para el segundo.

A la conclusión de que *“El color filtrado depende del tipo de partículas que predominan en ese suelo”* se llega desde la comparación de las observaciones empíricas de lo que ocurre con el agua que atraviesa el humus, que es oscura con la que atraviesa la arena que no adquiere color (ellos lo expresan como *“es blanca”*).

Otra conclusión determinante en esta argumentación es la formulada como *“No existe relación entre el color del agua y la capacidad de retención”* partiendo del dato empírico *“El agua más oscura (la que consideran que tienen más color) es la que presenta un grado intermedio de capacidad de retención”*. En la justificación que relaciona con este dato con la conclusión de que no existe relación actúa como una justificación sustantiva la conclusión del primer argumento.

Por esta conexión e interdependencia, se representaron los dos argumentos en el esquema de Toulmin doble que se representa en la figura 4.2.20. La argumentación del equipo de trabajo es lógica y coherente si se tiene en cuenta la hipótesis que plantea Agustín *“Sí existe relación entre color y capacidad de retención, a mayor grado de retención el filtrado será más oscuro”*. Pero en esta lógica se basa en la identificación del color con el negro, olvidándose del color propio de las arcillas porque el modelo que está usando se centra en el sólido visible en suspensión y por tanto en el arrastre de fragmentos macroscópicos observados en una mezcla heterogénea que es la identificable en el filtrado del humus. No tiene presente el color de la arcilla por ser propia de una mezcla homogénea resultante de la disolución de las partículas de arcilla, porque no parece no tener el modelo corpuscular microscópico de la naturaleza de la materia que se necesita para entender esas disoluciones que son claves para dejar sales minerales a disposición de las raíces.

El mapa del discurso que genera el argumento doble refleja una secuencia colaborativa, donde Agustín y Álvaro participan equitativamente en la construcción de los argumentos, aunque Agustín hace que la discusión gire alrededor de su hipótesis de partida, logrando así imponer que esta no es verdadera, pues la arcilla retiene más agua que el humus y su filtrado

es “*menos negro*”. Antonio no participa en la argumentación y Alonso no asistió a clase este día según consta en las notas de campo del observador.

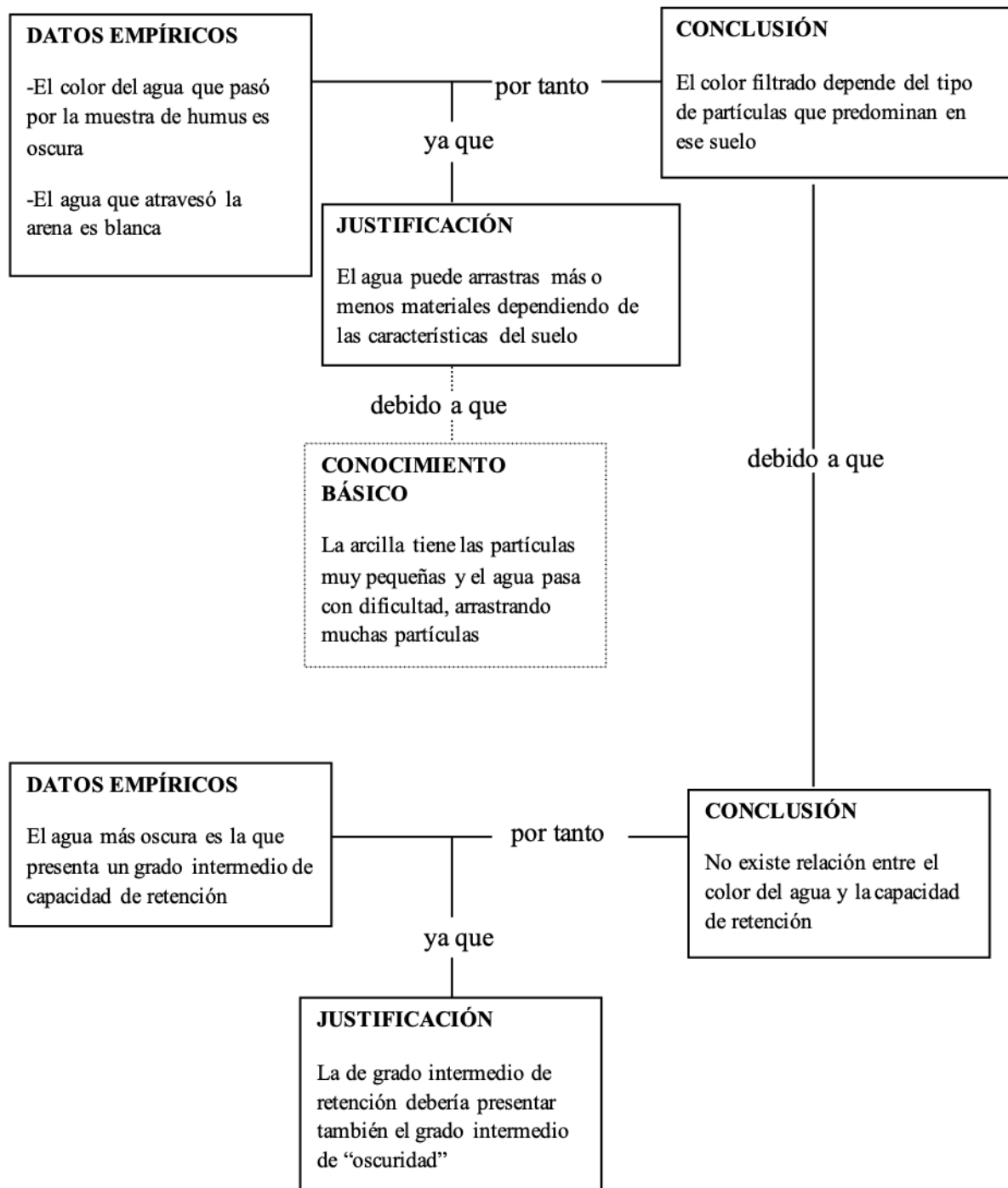


Figura 4.2.20 Representación de los argumentos extraído del discurso del equipo que busca relaciones entre el color del líquido que se filtra a través de las muestras y la capacidad de retención de estas (la línea discontinua representa lo que ha aportado a la argumentación del grupo el portavoz del grupo 8)

El primer argumento, cuya conclusión se convirtió en una justificación de la conclusión que emite Agustín, de que no hay relación entre el color del filtrado y la capacidad de retención, es impulsado por Álvaro, basándose en que el filtrado del humus contiene restos de materia orgánica en suspensión. Desde el momento que se asocia el color con la intensidad del oscuro, propio de los restos del humus, se pasa a centrar la atención únicamente en el sólido y obviando su interacción con el disolvente, y por tanto no entrando en el análisis de las disoluciones. La argumentación se centra a partir de ese punto en el proceso de suspensión que lleva a la mezcla heterogénea de sólidos con líquidos. Aunque los arrastres de humus en la dirección del horizonte B son importantes en la nutrición de los vegetales, en la argumentación que se demanda para esta modelización interesa centrar la atención también en la mezcla homogénea de las disoluciones, que es la que interesa para entender la fertilidad del suelo, puesto que las disoluciones en el suelo son la base para el aporte de sales minerales a las raíces de las plantas de la que depende la fertilidad. Es probable que el grupo echara de menos la participación de Alonso, que en la secuencia anterior demostró pericia con la introducción del modelo microscópico coherente. Esta ausencia de Alonso pudo justificar que Agustín recurriese a la ayuda del portavoz del grupo de al lado. Esta aportación que recibe del portavoz del grupo 8, contiene conclusiones y justificaciones que no están relacionadas directamente con el modelo que usaron Agustín y Alonso, y que parecen corresponderse con una representación mental implícita de las disoluciones. Posiblemente el desarrollo del modelo expresado en la figura 4.2.12 dejó referencias para hacer consciente de la lógica de la argumentación del portavoz 8, y eso explicaría que Agustín renunciara a seguir rebatiendo lo expresado por el portavoz 8. Pero no parece que haya conseguido avanzar, cuando cierra la argumentación aceptando lo expresado diciendo que era lo contrario de lo que el portavoz 8 había dicho antes, cuando el portavoz del grupo 8 siempre se manifestó en la línea de coherencia del mismo modelo microscópico próximo a la conceptualización de las disoluciones. La argumentación del portavoz 8 es la más válida, en el sentido de que sus justificaciones tienen una apoyatura clara en un conocimiento básico bastante acorde con el conocimiento científico.

El profesor solo interviene para aclarar una duda de interpretación a Agustín. En las notas de campo del observador se hizo constar que el docente procuró no dar la respuesta inmediata, sino que se le hizo la misma pregunta de otra forma más matizada y ejemplificada: *“Claro, de los tres tipos de suelos, aquel en que predomine la arcilla, ¿retiene más o menos agua que los otros dos? y ¿qué color tiene el agua que se filtra a través de ella?”*. La otra intervención, también solicitada por Agustín, busca reforzar la autoridad del conocimiento del profesor, su oposición justificada al portavoz del grupo 8, cuando le dice (ver transcripción del discurso) *“esto no pasa, porque aquí, en la del humus, pasa más agua que en la B (arcilla) y es más oscura”*. La lógica de tal razonamiento quiso ser aprovechada por el profesor para dinamizar la discusión y la argumentación, buscando que, en el debate, el portavoz del grupo 8 le ayudase con la evolución del modelo, por lo que se le contestó *“díselo a Juan”*. Pero el docente no tuvo éxito en este intento de contraste de modelos, tal y como se expuso.

La valoración del argumento doble supone una puntuación de seis (6) puntos de un total de nueve puntos, obtenida desde las tres variables contempladas en la rúbrica de la tabla 3.1 para la valoración la calidad de los argumentos:

1. Hechos: 1a. Parten de datos empíricos comprobados por la ciencia u obtenidos mediante diseños experimentales: 3 puntos.

2. La concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimiento básico: 2 puntos.
3. Formula una conclusión en términos de conceptualización propia de un modelo, pero ni a nivel implícito se le encuentra relación con el modelo a usar: 1 punto.

Por tanto, a la calidad del argumento que reacciona el color del agua que se filtró con la retención se le otorga una puntuación global de 6 puntos.

4.2.5.3.2 Esquema de Toulmin y valoración del argumento relativo al discurso de la puesta en común de argumentos de diferentes equipos de trabajo sobre la práctica de laboratorio

La figura 4.2.21 esquematiza el argumento recogido en el discurso de la puesta en común sobre la práctica transcrita y categorizada en la figura 4.2.17 y esquematizado su discurso en la figura 4.2.19.

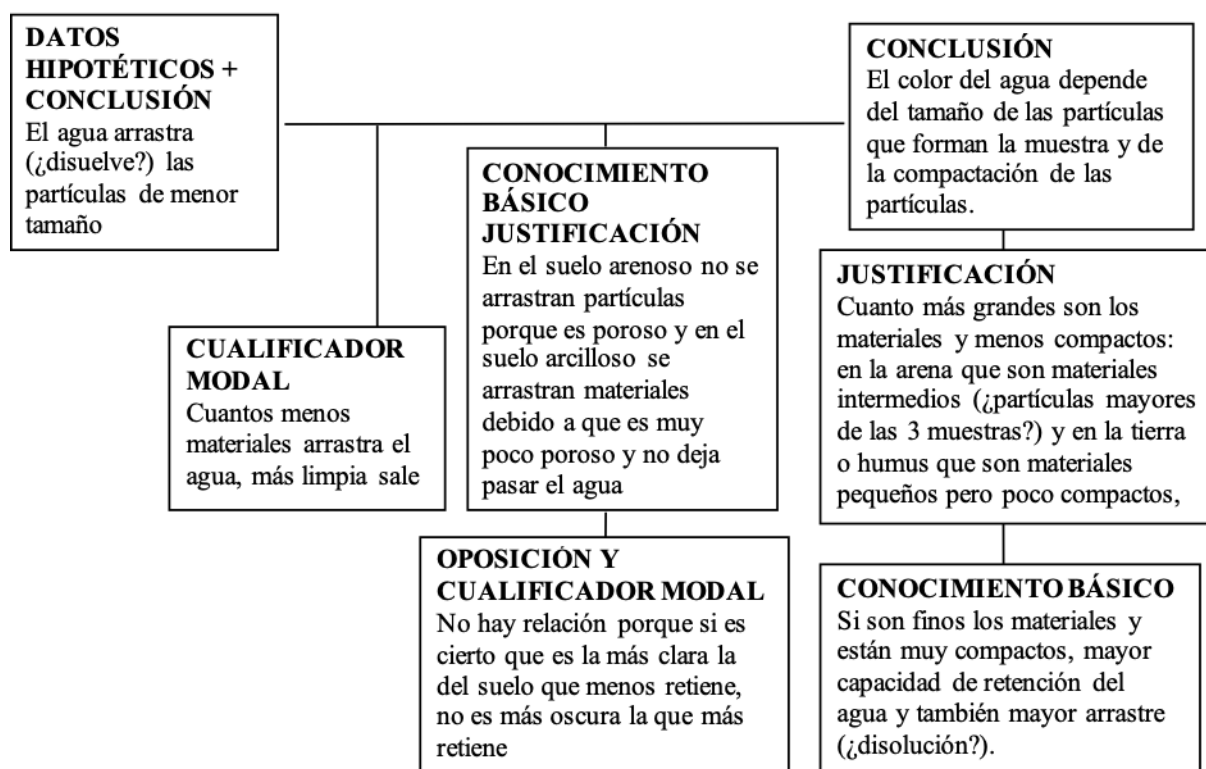


Figura 4.2.21 Representación de los argumentos extraídos de la puesta en común sobre la tercera cuestión.

En la construcción del argumento representado en la figura 4.2.21 intervinieron Agustín y los portavoces de los grupos 1, 2, 3, 4 y 8, este último cerrando la argumentación por aportar la argumentación aceptada por válida. El portavoz del grupo 1 aporta datos hipotéticos claves para el avance del argumento hacia su conclusión. Lo hace al asociar el color del agua que se filtra a través de las tres muestras de suelo (arena, arcilla y humus), con el arrastre o disolución de las partículas de las muestras.

En ese sentido la puesta en común resultó valiosa explicitando una argumentación bien valorada al recibir siete (7) puntos de un total de nueve obtenida desde las tres dimensiones contempladas en la tabla 3.1 que contiene la rúbrica para valorar la calidad de los argumentos:

1. Hechos: 1a. Parten de datos empíricos comprobados por la ciencia u obtenidos mediante diseños experimentales: 3 puntos.

2. Justificación: 2b. La concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas de conocimiento básico: 2 puntos.

3. Conclusión: 3b. Del enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento: 2 puntos.

Por tanto, a este argumento se le otorga un total de 7 puntos de los 9 que se le puede otorgar como máximo según la rúbrica 3.1.

4.2.5.4 Modelización y valoración en el grupo pequeño y expresados en la puesta en común.

4.2.5.4.1 Modelización y valoración de su validez en el discurso del grupo pequeño buscando interpretar las posibles relaciones entre el color del agua que se filtró con la retención.

La modelización que se ha desarrollado a través de las estrategias que han conducido a este argumento queda puntuada con dos (2) puntos sobre un total de 8 puntos, obtenidos por la suma de las siguientes valoraciones en las dos dimensiones de la tabla 3.2 con la rúbrica para valorar la autonomía, rigor y maduración del proceso de valoración:

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1d. El grupo comparte un modelo, pero sin la suficiente claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar para dar respuesta a la cuestión: 1 punto.
2. Evolución y madurez: 2d. El proceso de evolución no es suficiente para superar ideas alternativas presentes en el modelo mental inicial de partida: 1 punto.

Aunque las capacidades de argumentación puestas en juego en la co-construcción del discurso quedan suficientemente valoradas, los resultados, en términos de evolución de los modelos mentales iniciales, no fueron satisfactorios.

El proceso de modelización se identificó en una secuencia de discurso que demandaba buscar relaciones justificadas entre la capacidad de retención de agua y el color. Se buscaba aplicar un modelo corpuscular de la materia que permitiera entender la disolución de nutrientes con el paso lento a través de los microespacios que dejan entre sí las pequeñas

partículas, pudiendo ser estas disueltas en este paso lento para quedar a la disposición de las raíces. También interesaba que integraran la llegada de nutrientes a las raíces desde el horizonte superior con humus viendo el arrastre de estructuras vegetales alteradas que forman el humus superficial de color oscuro. El desarrollo de estrategias de argumentación para buscar y explicar este tipo de relaciones, suponen un contexto facilitador para la explicitación y evolución de modelos mentales.

En el segundo paso del método de modelización esquematizado en la figura 3.10 del apartado de Metodología, se encontró la dificultad para interpretar la disolución por falta de desarrollo de un modelo corpuscular que facilite esa interpretación. En el tercer paso no se encontraron símiles destacables que facilitaran la evolución del modelo mental inicial macroscópico de suspensión y arrastre que se centra únicamente donde funciona, que es en la muestra del humus. Un sesgo de esta naturaleza no permite acertar en la interpretación del acceso de las sales minerales disueltas a las raíces, algo que se intuye por la no apreciación del color de la arcilla en la mezcla homogénea. Eso justifica que el modelo inicial de los estudiantes quede distante del necesario para acertar en esa interpretación. No existen manifestaciones claras de oposiciones y tampoco son muy decididos los acuerdos, posiblemente porque no se sienten satisfechos al no encontrar una explicación para la relación, que tienen que concluir que no existe.

En el paso 4 se intuye una representación del modelo que están usando a través de fragmentos sólidos negros de restos del humus que se encuentran formando, dejando espacios abundantes (dicen poco compacto) en el sólido en el que se vierte el agua, y que aparecen en disposición de mezcla heterogénea.

En el paso 5 se determina que no tiene nivel de coherencia suficiente para actuar como un modelo de ciencia escolar válido para explicar el acceso de nutrientes a las raíces de las plantas por disolución en agua que se filtra con la suficiente lentitud como para posibilitar la disolución. Por tanto, se debe introducir las revisiones de los pasos 2, 3 y 4 que posibiliten realizar un diseño didáctico con un andamiaje que permita evolucionar ese modelo mental inicial hacia uno corpuscular capaz de interpretar la disolución de limos y arcillas, el arrastre de materiales del horizonte A y la mineralización del humus que también facilita la aportación de sales minerales disueltas a las raíces.

4.2.5.4.2 Modelización y su valoración en el discurso de la puesta en común de argumentos de diferentes equipos de trabajo sobre la práctica de laboratorio

En relación al método de modelización que se expresa en el diagrama de flujo figura 3.10 del apartado de Metodología, centrándose en la modelización en la que se termina imponiendo en la puesta en común, que es el expresado por el portavoz del grupo 8, en lo referido al paso 1 de ese diagrama de flujo para interpretar la modelización, la secuencia está seleccionada por contener la puesta en común de la secuencia de discurso seleccionada en el argumento sobre el mismo reto en el trabajo en equipo. El grupo 8 logra que se identifique en el evento un argumento con un grado aceptable de validez. En el paso 2 de interpretación de la modelización, teniendo presente el modelo científico, el nivel de competencia curricular y el desarrollo ontológico hacia modelo de ciencia escolar, resulta clave el dato hipotético, aportado por el grupo 8, de arrastre de las partículas de menor tamaño que le dan color al agua recogida en el vaso de precipitados después de filtrarse a través de la muestra. Esto es

coherente con la observación de color marrón en el agua que se filtró a través de la arcilla (disolución de sus partículas), y de color oscuro de la que se filtró a través del humus (arrastre de fragmentos de humus que quedan en suspensión). También es coherente con el hecho de que el agua que se filtró a través de la arena sea prácticamente transparente, porque sus partículas no son tan pequeñas como las de la arcilla (no son solubles) y tampoco son tan mezclables en suspensión con el agua como las del humus. El razonamiento referido a la arena también parece estar compartido en el enunciado del portavoz del grupo 2, especificando que cuanto menos materia arrastra el agua, más limpia sale.

En el paso 3 no hay analogías que destacar y por tanto se avanza desde la evaluación del grado de acierto, las satisfacciones, acuerdos, oposiciones y alternativas que dan los estudiantes en la aplicación del modelo. Desde este enfoque se señala que el discurso construido los portavoces 1 y 2 no se justifican las causas de ese arrastre de las partículas más pequeñas, porque no incluyen en el conocimiento básico un modelo corpuscular que explique la disolución. Esa justificación, necesaria para la conclusión, la abre el portavoz del grupo 3, que expone que el suelo arenoso, debido al mayor tamaño de partículas, deja poros por los que se filtra el agua. Su discurso expresa que estos poros no quedan en los suelos con partículas mucho más finas, como los arcillosos, y por tanto solo puede filtrarse el agua si en su avance arrastra partículas. Analizado en términos de representaciones implícitas podría estar aludiendo a la disolución de esas partículas del agua que pasa con la lentitud necesaria para facilitar ese proceso de disolución. Por tanto, no solo relaciona el agua filtrada por cada uno de los tipos con el color que presenta, sino que también permite relacionar con la cantidad de agua que se filtró, siendo esta menor en el agua que se filtró a través de la arcilla y mayor en el caso de la filtrada a través de la arena. Parecen aplicar así el modelo microscópico coherente cuya evolución se evidenció en la estrategia de argumentación desarrollada en el discurso de la respuesta colectiva a la segunda cuestión de este caso (figura 4.2.12).

La oposición que formula Agustín al discurso construido por los portavoces de los grupos 1, 2 y 3 se manifiesta como incoherente por la justificación con lo que la acompaña. Su modelo mental inicial no logra evolucionar para incorporar la disolución de partículas de la muestra de la arcilla porque se centra en la suspensión de fragmentos visibles de materia negra en suspensión que procede del humus. La justificación de la oposición la expresa en los términos de que si bien es cierto que el suelo que más filtra (arena) deja el agua filtrada de color más claro, en el sentido que es incolora, el que menos filtra (arcilla), no es la que lo deja más oscuro, pues está considerando el color en términos de claro (menos color) y oscuro (más color) sin fijarse en otros colores, o al menos no considerando colores de disoluciones de color homogéneo, pero que dejan pasar la luz. Esa lógica es la que le lleva a concluir que no hay relación porque el que considera con más color (más oscuro) es el del humus (color negro), que también filtra mucho. Está considerando que tener más color es tener un color negro en materia visible, que es el color de los fragmentos de humus arrastrado por el agua. Aunque la formulación parece lógica, la incoherencia parece estar en una posible confusión entre la transparencia del agua filtrada a través de la arena con el extremo opuesto al color negro porque en el agua se filtra a través de la arena no incorpora materia en suspensión claramente visible en la mezcla que circuló a través del humus. La facilidad para visualizar la naturaleza de este material del suelo y su interacción de arrastre por el agua es una buena oportunidad para que conseguir que, mediante el desarrollo de las capacidades de argumentación necesarias, incorporen modelos que interpreten la importancia del humus para aportar sales minerales que avanzan del horizonte A al B para aportar nutrientes a las raíces. Pero no incorporan el dato de que la poca agua que se filtra a través de la arcilla es una

disolución del color de este material, porque no lo aprecian como tal al ser líquido transparente a la luz y forma homogénea en todo su volumen, y eso evidencia una importante distancia de este del modelo que necesita la ciencia escolar para integrar el papel de las sales minerales en la nutrición de las plantas.

De este análisis del turno de intervención de Agustín, parece desprenderse que esta justificación que expresó, apoyada en el modelo incoherente, para la explicación de la disolución, pudo motivar al portavoz del grupo 8 a adelantar su turno de intervención, por oposición a lo expresado por Agustín, cerrando la puesta en común al conseguir una respuesta centrada en un modelo más coherente que el de Agustín. Posiblemente tomó la palabra al percatarse, por conversaciones anteriores a la puesta en común, de las dificultades de interpretación en lo que lo contó Agustín. Este grupo parece que tuvo la capacidad de argumentar para interpretar que el color oscuro se debe al humus en suspensión en el volumen de agua filtrada, un volumen muy parecido a la cantidad de volumen filtrado a través de la arena, y ambos claramente superiores al del agua filtrada a través de la arcilla, que es transparente, pero del color de la materia que atravesó, porque disolvió sus pequeñas partículas no visibles a nivel macroscópico.

A nivel del análisis de la representación mental implícita que puede estar presente el modelo mental que aporta el conocimiento básico que aplicó el grupo 8 en su argumentación, puede que este modelo establezca, en su alusión explícita a la relación también con la compactación de las partículas, relaciones entre la lentitud del paso del agua con la compactación (cohesión entre las partículas), para explicar la salida de las partículas así compactadas por disolución. Al menos este argumento apunta oportunidades para la relación entre el disolvente y el sólido a modo de disolvente y soluto. Esta argumentación del grupo 8 parece apoyarse en un nuevo modelo mental más evolucionado que puede generar oportunidades como modelo corpuscular que permita introducir, a través de la atracción de partículas entre sí y de estas con el agua, la relevancia de la disolución de estas partículas para que lleguen disueltas en el agua a las raíces de las plantas. De esta forma se puede asimilar la importancia de la llegada de estas disoluciones hasta las raíces de las plantas, para que las sales minerales puedan ser usadas en la nutrición vegetal. El modelo evolucionado que se evidencia en la puesta en común se plasma en la conclusión expresada por el portavoz del grupo 8, al relacionar el tamaño de las partículas, su grado de cohesión y con la velocidad de filtración del agua. Aunque no alude de forma explícita al color que le da la arcilla a la disolución que caracteriza esa mezcla homogénea en la que el color de la arcilla en el líquido filtrado evidencia la incorporación de partículas que ahora están disueltas en el agua y que antes estaban en la arcilla. La conclusión incorpora condiciones y justificaciones derivadas de un conocimiento que parece diferenciar la disolución de la suspensión cuando expresa *“Si son finos los materiales y están muy compactos, mayor capacidad de retención del agua. Cuanto más grandes son los materiales y menos compactos: en la arena que son materiales intermedios y en la tierra o humus que son materiales pequeños, pero poco compactos, es mayor el arrastre”*.

En relación a la expresión gráfica necesaria para la explotación didáctica del modelo desarrollado con esta argumentación, a la vista de las dificultades de aprendizaje e ideas alternativas expresadas por Agustín, y siguiendo la orientación marcada por el grupo 8, parece interesante atender a estos tres niveles de representación:

1. Nivel de naturaleza corpuscular que a su vez contemplará tres niveles de representaciones de modelos corpusculares de tres tipos de partículas. Las partículas de las arcillas de tamaño pequeño y cargas negativas que las mantienen cohesionadas a cationes en el sólido, dejando espacios de diámetro mínimo entre ellas. Otro modelo corpuscular microscópico contemplaría un modelo de partículas claramente más grandes, sin cargas, en la arena con poros más grandes de fácil circulación. El tercer modelo corpuscular incorporaría representaciones fragmentos de esqueletos reconociendo nervios de hojas como elementos muy grandes, combinada con otros intermedios y algunos pequeños, siendo estos últimos las sales minerales que resultan de la mineralización para el humus, así como la estructura triangular bipolar del agua.
2. En un segundo nivel se plantea simbolizar con flechas el movimiento del agua en red por uniones puentes de hidrógeno empujando en las partículas sólidas en grandes masas y en movimiento alineado entre arcillas por pequeños poros entre partículas representando conexiones electrostáticas entre partículas de arcilla y agua.
3. En el tercer nivel se propone visualizar detalles de partículas con moléculas de agua en los tres recipientes. En el que se filtró a través de la arcilla debería tener muchas partículas de arcilla entre la red acuosa, en la que filtró a través de arena estaría sin partículas con alguna de arena decantando. La que filtra a través a través del humus debe tener fragmentos de esqueletos de hojas suspendida en la red acuosa y alguna pequeña partícula que se libera de esa estructura para simular mineralización.

En base al apoyo como recurso didáctico del modelo gráfico propuesto desde el análisis de la argumentación y modelización, se puede proceder al diseño didáctico de un andamiaje orientado hacia la evolución de ese modelo macroscópico de explicación de suspensión de materia en el agua hacia un modelo corpuscular de interacción agua-sólido para llegar a la disolución. Desde este análisis se concluye la importancia que tiene un andamiaje de este tipo para una introducción curricular eficaz del contenido del informe IPCC del 7 de agosto de 2019 desde los últimos años de la ciencia escolar básica. Con esa introducción eficaz se puede llegar garantizar que la urgencia que este informe expresa para el reto de la seguridad alimentaria del siglo XXI llegue a todos los ciudadanos afectados desde su formación escolar básica.

La puesta en común deja una buena valoración de la validez de la modelización, recibiendo seis (6) de un total de 8 puntos obtenidos desde las dos dimensiones contempladas en la tabla 3.2 que contiene la rúbrica para valorar la autonomía, rigor y maduración del proceso de modelización:

1. Iniciativa, autonomía y rigor: 1b. Expresan en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y/o riguroso, pero comprensible y coherente con el modelo conceptual: 3 puntos.
2. Evolución y madurez: 2b. La concordancia entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con conocimientos básicos: 3 puntos.

4.2.6 Discusión y Conclusiones conjuntas del caso 2 con sus Implicaciones didáctica para la educación científica básica de las relaciones Cambio Climático–Suelo

El Informe Especial publicado el 7 de agosto de 2019 por el IPCC tuvo un elevado impacto en la opinión pública internacional por las advertencias implícitas en su contenido sobre el riesgo del cambio climático en el aumento de la desertificación, degradación del suelo con sus implicaciones para su gestión sostenible, la seguridad alimentaria.

De forma más indirecta también interesa tomar en consideración, en la relación del cambio climático con el suelo, los flujos que pueden derivarse de su cambio de la tendencia actual de sumidero, siendo el gran reservorio de carbono en la naturaleza (Dimas y Gnacadja, 2009) a fuente de flujos de gases invernadero hacia la atmósfera (Orjuela, 2018), con el consiguiente riesgo de retroalimentación del problema. El manejo del suelo en el contexto de alteraciones en el régimen térmico y en el pluviométrico, derivados del cambio climático, pueda direccionar su rol de sumidero a fuente de CO₂ que se emite a la atmósfera (Six et al., 2002).

El suelo agrícola que en su estructura requiere del orden del 60% de partículas finas de limos y arcillas, ante cambios alternos de temperaturas y precipitaciones extremas puede experimentar una compactación excesiva y también la eliminación y degradación acelerada de la materia orgánica, favoreciendo así las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por otro las lluvias intensas, cuya frecuencia va en aumento, contribuyen a mayores inundaciones en la superficie de cultivo, que, por su textura predominante en partículas finas, y desarrollo en superficies horizontales aterrazadas, acaban desertificando el suelo, y cuando llegan los periodos de temperaturas extremas. Esto se ve favorecido cuando los suelos que antes fueron inundados experimentan a continuación periodos de sequías, lo que provoca compactaciones evidenciadas por la formación de grietas, hasta el punto de que dificulta la aireación.

Los eventos extremos pueden ocasionar en los terrenos de cultivo pérdidas de cultivos por anoxia, enfermedades en las raíces de las plantas (IPCC, 2019), empobrecimiento el suelo en humus, y por tanto en materia orgánica y la flora microbiana favorecedora de la mineralización, pudiendo ser sustituida por el crecimiento de comunidades microbianas que impactan negativamente en las condiciones redox del suelo y en la salud de los cultivos. Además, estos fenómenos extremos, cuyo aumento de frecuencia parece relacionarse con el cambio climático, están eliminando sales minerales del suelo con la consiguiente contaminación de agua freática que pasa a acuíferos, ríos, lagos y océanos (Ongley, 1997). Todo ello tiene consecuencias en el aumento de la desertización, entiendo este fenómeno como la pérdida de la fertilidad y productividad del suelo (Dupar, 2019).

El cambio climático está actuando como potenciador de la práctica totalidad de los factores que influyen en la aceleración de los procesos de desertificación del suelo de cultivo (Debonne, 2019). Entre los datos que aporta el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019 consta que las áreas áridas ya superan el 46% de la superficie terrestre afectando alrededor de los 3 mil millones de personas que viven en las tierras secas actuales. En ese sentido ya se han superado las predicciones que había hecho el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente con su cálculo de en la segunda década del siglo XXI el 35% de la superficie de los continentes podrían considerarse como áreas desérticas (PNUMA, 2012). Esto explica que millones de personas viven en condiciones persistentes de inundaciones de cultivos y persistentes sequías en otros, pudiendo alternarse ambos efectos de los dos tipos de eventos extremos, aumentando así la aceleración de la desertificación. Este diagnóstico y pronóstico

de escenarios en el que el cambio climático vaya implicando mayores pérdidas de suelo fértil y productivo, con el consiguiente riesgo de generar refugiados climáticos (IPCC, 2019) resulta un reto que debe ocupar y preocupar al conjunto de la población mundial.

Un reto de esta urgencia requiere que sus bases científicas se incorporen al currículo de ciencia escolar básica lo que implica incorporar su contenido a la alfabetización científica por la transcendencia que tiene para la vida de los ciudadanos del siglo XXI. Por esa importancia del reto para la ciudadanía interesa introducirlo en el currículo de ciencia escolar básica bajo un enfoque competencial usando la competencia científica para interpretar datos y pruebas (OECD, 2017). Para ello se recurre al desarrollo de capacidades de argumentación que permitan relacionar datos, evidencias y pruebas con las conclusiones a través de justificaciones basadas en respaldos de conocimiento básico (Toulmin, 1958). Estas capacidades de argumentación se pueden desarrollar a través de actividades que requieran decisiones grupales que supongan el diálogo orientado a la elaboración grupal de argumentos mediante el debate, la negociación y el consenso para tomar decisiones que busquen respuesta a preguntas en forma de conclusiones justificadas en base a evidencias, datos y pruebas (Osborne, 2010) y orientadas por modelos mentales coherentes con el conocimiento básico científico de referencia que se requiere. Por eso se diseñaron contextos de indagación con los correspondientes andamiajes en la que los estudiantes se implicaron en resolución de problemas auténticos de aprendizaje situado en su contexto próximo y cuya solución requirió de la comunicación de los estudiantes entre sí (McGinn y Roth, 1999). Se partió así de estudios de argumentación centrados en el discurso real y natural que ocurrieron en grupos de clase ordinarios (Duschl et al., 1999) y centrados en el desarrollo del currículo de ciencia escolar prescriptivo en el sistema educativo español para el nivel de competencia curricular de 15 años, con la perspectiva sociológica aplicada al estudio de clases reales y laboratorios escolares introducidos por Kelly (1997). En el proceso de estudio se realizó una valoración de la calidad del Argumento (Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamente, 2003) por su valor de razonamiento científico en las dimensiones de hechos, justificaciones y conclusiones orientadas hacia el impulso de procesos de evolución de modelos mentales iniciales en su avance hacia los modelos de ciencia escolar que interesa para ese nivel de competencia curricular, tomando como referencia el modelo científico.

En ese proceso de modelización, a lo largo de todas las secuencias implicadas en este segundo caso de la tesis, se tomó como referencia los modelos conceptuales propios de la transposición didáctica de los modelos científicos para los niveles de competencia curricular (Clement, 2000). Para conseguir esa evolución se desarrollaron preguntas andamiaje cuyas respuestas implican el uso de modelos mentales iniciales de los estudiantes susceptibles de una evolución (Gobert y Buckley, 2000) hacia el correspondiente modelo de ciencia escolar, siendo para ello necesario modular la argumentación en un proceso de evaluación de la coherencia de los modelos usados en las justificaciones que enlazan las evidencias con las conclusiones, realizando las revisiones que fueron necesarias (Gobert y Buckley, 2000). Esas evaluaciones y revisiones llevan a que los modelos mentales usados no se puedan quedar como estáticos ni tampoco que sus imperfecciones puedan actuar como bloqueantes de un necesario proceso de evolución hacia modelos mentales más coherentes con los modelos científicos implicados en la respuesta que se le pide. Para conseguir esa evolución se diseñó la unidad didáctica planteada para conseguir la necesidad de aplicar los modelos para interpretar y explicitar esas interpretaciones. En ese diseño se tomaron como referencia, siempre que fue posible, sus experiencias (grietas en suelos secos que antes fueron inundados) y evidencias que puedan obtener en la observación del paso de agua a través de diferentes materiales del suelo,

utilizando en esa evolución mecanismos explicativos e información adicional que se le fue suministrando (Acher, 2014) a través de portfolios con el fragmento de la unidad correspondiente a la cuestión a resolver y retos de demanda cognitiva que ha introducido el docente cuando fue necesario, sobre la base de contextos, ejemplos y analogías vinculados a los contextos que tiene el lugar el aprendizaje, recurriendo así al aprendizaje situado (Brown et al., 1989). También se buscó la inmersión de prácticas auténticas (Gilbert, 2004) para relacionar los tipos de componentes del suelo con la fertilidad para introducirlos a través de esas experiencias en los procedimientos de construcción y evaluación de las ideas científicas (Schwart y White, 2005) que se necesitan para la comprensión de los factores que determinan la fertilidad del suelo desde esas prácticas de laboratorio escolar. Con esta formulación experimental se buscó impulsar el proceso de modelización teniendo que implicarse activamente en la búsqueda de información, en el aporte de ideas y en la toma de decisiones sobre fenómenos que le son familiares (Oliva, 2019).

Se siguió todo lo expuesto para conseguir que este estudio de caso se centrara en las capacidades de argumentación que permitan evolucionar los modelos mentales iniciales hacia los modelos mentales coherentes con los que demanda la ciencia escolar para entender los efectos sobre la fertilidad que tienen los fenómenos extremos. Para ello es necesario que interpreten la estructura del suelo de cultivo en su proporción propia de los suelos francos: 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla con la estructura que demanda la fertilidad que combine una compactación que no sea excesiva, para que se vea favorecida la circulación de agua con sales minerales disueltas y oxígeno, y que posibilite el arrastre y mineralización de humus.

La ontología del modelo de estructura de suelo franco no ofrece demasiado dificultades. Sin embargo, cuando se entra en la inundación de suelos de cultivo y posterior compactación el modelo inicial de tres de cuatro estudiantes del grupo objeto de estudio del caso están muy distantes del modelo científico. Esto es así porque las grietas y las inundaciones son experiencias cotidianas sobre las que los estudiantes generan representaciones de origen sensorial en las que hacen, por su cuenta. Esas observaciones de suelos agrietados en periodos secos, que antes estuvieron inundados, llevan a que lleguen a la escuela con representaciones macroscópicas sobre la materia del suelo implicada en las inundaciones y en las sequías. Dichas interpretaciones personales observando la naturaleza en el entorno en el que viven, genera modelos que proceden de las vivencias, lo que implica representaciones implícitas macroscópicas de concepción continua de la estructura de la materia del suelo y por tanto con ideas alternativas, pero resistentes al cambio conceptual por la coherencia derivada de la utilidad que tiene para que puedan entender estas observaciones de la naturaleza. De no producirse su evolución hacia el modelo microscópico de discontinuidad, que integre la existencia de espacio entre partículas del suelo, no se alcanzará a entender las consecuencias sobre la fertilidad del suelo de su inundación y su posterior compactación evidenciada por las grietas cuando se secan esos suelos inundados. El modelo analógico de las grietas en el cemento que expresan da a entender que se está interpretando la formación de grietas por pérdidas de materia y/o procesos de dilatación, que no tienen la reversibilidad necesaria ni la capacidad para interpretar los efectos negativos de estos fenómenos sobre la fertilidad. Por eso se interpreta que en esas representaciones mentales implícitas están a considerar las partículas, que forman la materia, totalmente unidas sin admitir la opción de vacío (Pozo et al., 1999).

Desde esta interpretación se concluye la necesidad de planificar andamiajes, con representaciones gráficas, que faciliten la evolución de estos modelos mentales iniciales macroscópicos incoherentes (figura 4.2.10) hacia el modelo microscópico discontinuo con espacio entre las partículas. Sin embargo, la investigación relativa a este caso permitió llegar a la conclusión de que la asociación con la dilatación que despierta la visualización de grietas, en contextos calurosos y de sequía, pueden invitar a pensar en la dilatación de esas partículas microscópicas expulsa partículas arcillosas cuyo sumatorio de volúmenes daría lugar a las grietas cuando estas partículas vuelven a su tamaño normal, lo que lleva en este caso a un modelo microscópico incoherente (figura 4.2.11). De esto se deriva la conclusión del interés de llevar la evolución del paso del modelo inicial macroscópico a través de un andamiaje con las orientaciones que permiten avanzar al modelo mental inicial hacia un modelo microscópico coherente (figura 4.2.12). Ese tipo de diseños se deben elaborar pensando en que posibiliten la representación mental de la introducción de agua en el espacio entre partículas, para interpretar que la evaporación de estas moléculas de agua pueda aproximar más las partículas de la arcilla de lo que estaban cuando el suelo estaba inundado, apareciendo grietas como consecuencia de esta compactación de las partículas de arcilla debido a la evaporación.

Ese modelo es necesario para interpretar la fertilidad, pero no suficiente, porque deben entrar en juego el modelo corpuscular necesario para interpretar las interacciones sólido – agua que lleve a la disolución de sales minerales para que estas queden a la disposición de las raíces. Por eso la conclusión es que hay que pensar que, como afirman Blanco y Prieto (1994), los estudiantes de la enseñanza básica presentan dificultades de comprensión de las disoluciones. Para una adecuada comprensión de las disoluciones en el suelo, es necesario una utilización de un modelo corpuscular de la materia que facilite la interpretación de las disoluciones que ocurren en el suelo y de las que depende la nutrición de las plantas. Un modelo así, para este nivel de competencia curricular básico, no es fácilmente asimilable, por cuanto que las arcillas son aniones silicio $[\text{SiO}_4]^{4-}$ pertenecientes a los silicatos que se neutralizan en sus estructuras con hidróxidos de metales entre los que pueden estar cationes metálicos como el calcio, el potasio o el magnesio, que se necesita que se disuelvan en el agua que llega a las raíces porque son necesarios para la fertilidad.

Pero lo que si pueden y deben asimilar en ese modelo corpuscular es que, en la neutralidad, que mantiene a los aniones silicio retenidos en esa estructura con microporos entre partículas, tiene un papel determinante los cationes metálicos. Eso lo pueden entender asumiendo que se trata de partículas cargadas que se atraen, pero que también pueden ser atraídas por el agua, debilitando la atracción de las partículas en la materia sólida, pasando a la red acuosa, dando disoluciones. En la evolución que hay que buscar en los modelos iniciales hay que tener presente lo expresado por Blanco y Prieto (1994) de que cuando se pregunta porque unas sustancias se disuelven en agua y otras no, tienden a centrar su atención en uno de los componentes. En el caso de suelo, en la investigación concreta de este caso, se llegó a la conclusión de que esa atención tiende a centrarse en el sólido, lo que se puede explicar por la naturaleza del suelo como una entidad en estado sólido visible. Esto coincide sobre lo encontrado por diversos autores de que en la enseñanza básica cuando se trata de fenómenos que implique mezclas de diferentes materias, su atención se centra en una sola sustancia, perdiendo de vista la interacción que se dan entre varias (Driver, et al., 1985).

En ese modelo corpuscular que interpreta la importancia de las disoluciones de sales minerales es imprescindible que se contemple las ideas de movimiento e interacción entre partículas (Sánchez y Valcárcel, 1990). Esta necesidad se justifica porque sin esa

representación mental no pueden entender porque unos materiales se disuelven y otros no, y en esta investigación el movimiento se centra sobre todo en el arrastre de fragmentos macroscópicos, lo que llamó la atención de alumnos como Agustín y Alonso. Se fijaron en los fragmentos sólidos suspendidos en el agua que se filtró a través del humus y olvidando la disolución de partículas no visibles como las arcillas que le dan color a la disolución del agua transparente coloreada que se filtró a través de la materia arcillosa. Deben entender que la disolución se produce, como por ejemplo las arcillas, porque las fuerzas de atracción entre las moléculas de agua y las partículas de aniones silicio y cationes metálicos son más fuertes que las propias atracciones entre esos aniones y cationes en la estructura sólida de la materia que forma las arcillas.

Como ya se ha expresado, en este estudio de caso se concluyó que en la argumentación todos los estudiantes del equipo de trabajo objeto de estudio ignoraron el papel del agua y se centraron únicamente en la materia sólida de las tres muestras de componentes del suelo. En esta línea han argumentado en todo el discurso analizado como si tales transformaciones no fueran una consecuencia de la filtración de agua, coincidiendo esta conclusión con lo encontrado por Rodríguez-Mora (2017). Por eso se concluyó, en base a lo investigado, que es necesario desarrollar planificaciones didácticas con andamiajes que impliquen necesidades de argumentación y se apoyen en los modelos gráficos expresados en la discusión. Estas implicaciones se formulan buscando que se entienda el papel que juegan los tres grandes componentes del suelo en la disolución de sustancias en el agua, así como la necesidad de una estructura que facilite los tiempos necesarios para la disolución, pero también los movimientos de agua que vayan llevando las sales minerales hasta las raíces.

A lo largo de la argumentación no se relaciona el proceso de mineralización del humus como una importante fuente de sales minerales que deben llegar a las raíces. Tampoco se relaciona el proceso de formación del humus como resultado principal de la alteración de la vegetación de una región climática ni la dependencia de esta formación con el clima. Esto es importante para entender lo que el informe (IPCC, 2019) expresa sobre el impacto de la oxidación de esa materia orgánica por el aumento de la temperatura superficial. Tampoco aparecen menciones a la eliminación de esa materia por la erosión derivada de precipitaciones extremas. Por tanto, queda ausente de la argumentación la dependencia de los suelos respecto al clima y a la vegetación o asociaciones climáticas. Quedan así fuera del modelo factores claves para el equilibrio biológico en la fertilidad del suelo, en su interacción con la microflora y la fauna en el proceso de humificación del que cabe destacar su importancia para la emigración de coloides y sales minerales que resultan claves para la fertilidad. Estas filtraciones de coloides y sales minerales determinan la aparición a un horizonte eluvial de transición entre el horizonte A hacia el B, con un color ceniciento y de horizonte B en el que se acumulan sustancias procedentes de la humidificación que son transportados por el agua con sales minerales disueltas que resultan de este proceso de humificación y mineralización del humus (Almendros et al., 1984) que no aparecen presentes en la argumentación, pero que el hecho de que se centre tan fácilmente la atención en la mezcla heterogénea del agua con el humus, ofrece una interesante oportunidad para esta evolución necesaria en los modelos mentales.

Esta dificultad para que los estudios de los último años de la enseñanza secundaria básica incluya la materia orgánica, los materiales en descomposición, el humus y los microorganismos como componentes del suelo con las consiguientes dificultades de aprendizaje ya fue identificada por Fernández et al. (2017), quienes consideraron que podía

ser reflejo de las dificultades de los estudiantes para entender el suelo como un medio donde se producen múltiples interacciones físicas, químicas y biológicas, identificando la mayoría solo algunos procesos físicos. Dicha dificultad quedó visibilizada en la argumentación relativa a la interacción del agua con diferentes muestras, centrándose únicamente su atención en el arrastre de los materiales del humus por ser macroscópicos sin entrar en la importancia de su mineralización y su liberación de sustancias solubles. Obvian así los procesos químicos, biológicos y de disolución y se centran en la mezcla heterogénea de los restos de humus que quedan en suspensión dando lugar a la mezcla heterogénea del agua filtrada a través del humus que llevan a Agustín y a Álvaro a identificar color con el negro, por ser el color de los restos y coloides en suspensión. Estas suspensiones de restos de humus son mezclas que tienen restos macroscópicos pequeños difíciles de diluir, las cuales quedan suspendidas en el líquido por un tiempo y posteriormente precipitan (Pavón et al., 2015).

En base a lo expuesto se concluye que se deben generar andamiajes apoyados en modelos de transposición didáctica que permita que los estudiantes relacionen la mineralización de estos restos en su arrastre hacia las zonas de las raíces con la consiguiente de aporte constante y continuo de sales minerales procedentes de esta mineralización de la materia orgánica. Los procesos de arrastre en suspensión, como ya se comentó, se ven facilitados por la observación que les llamó la atención, y la búsqueda de esqueletos de nervios de hojas en el humus es otro facilitar intuitivo. Esto asociado al proceso de disolución de las sales minerales resultantes de la mineralización, en sinergia con el diseño de andamiaje para la revisión de la argumentación y modelización para la comprensión de la disolución, va a ser muy importante para la comprensión del riesgo del aumento de la degradación de los suelos de cultivo por el cambio climático.

La degradación de los suelos que puede generar el cambio climático implica el proceso la pérdida de las cualidades del suelo, entendiendo como tal una disminución de su fertilidad, asociada a cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Mendoza et al., 2004). El aumento de la temperatura superficial por olas de calor y sequía van a acelerar los procesos oxidativos de la materia orgánica, aumentando así las emisiones de CO₂ y frenando el proceso de humificación. La alternancia de inundaciones en periodos de precipitaciones extremas, que se prevé que aumenten, con periodos de sequía, que también se espera que sigan aumentando con el avance del cambio climático, aceleran procesos erosivos en el suelo. Por eso interesa que todos los ciudadanos del siglo XXI entiendan el problema que la degradación del suelo, vinculado al avance del cambio climático, puede representar para la calidad ambiental y la seguridad alimentaria, y por tanto la para la calidad de vida.

Por todo ello se anota, como conclusión final, la necesidad de generar para los últimos cursos de secundaria procesos de argumentación vinculados al diseño de andamiajes que impliquen los procesos de modelización a generar, tomando como referencia las particularidades, sobre este tema, estudiadas en este caso. Hacer llegar estos conocimientos a la última etapa de la secundaria básica es la mejor garantía de que todos los ciudadanos del siglo XXI de las próximas décadas tengan integradas la alfabetización científica para comprometerse con la urgencia del reto.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 3: ARGUMENTACIÓN DE UN GRUPO CLASE DE 1º DE BACHILLERATO (16-17 AÑOS) DE LA MODALIDAD CIENTÍFICO – TECNOLÓGICA CONDUCTA POR EL DOCENTE

4.3.1 Introducción

En este estudio de caso se analizaron 80 minutos del discurso de 27 estudiantes del primer curso de la enseñanza media superior del sistema educativo español y del profesor (dos sesiones de clase consecutivas) durante la puesta en práctica de una unidad didáctica de Cambio climático que tomó como recurso didáctico principal la exposición sobre cambio climático del proyecto Climántica (anexo II) y que se diseñó sintetizando en este marco el contenido del libro didáctico nº 1 del proyecto Climántica *¿Cambia el clima?*

El punto de partida de este caso consistió en la visualización de la exposición de cambio climático desplegada en el *hall* del centro educativo y su explicación por parte del docente. A continuación, se incorporaron al aula y comenzó el desarrollo del discurso buscando respuestas científicas a una secuencia de preguntas que el profesor seleccionó entre las que figuraban en la exposición para centrar la atención sobre el contenido. En concreto se respondieron a estas preguntas:

1. ¿Es malo el CO₂ para la vida?
2. ¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?
3. ¿Una selva es un sumidero de CO₂?
4. ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?
5. ¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?
6. ¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?
7. ¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?
8. ¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?
9. ¿Cómo puede afectar a Galicia un aumento de temperatura en Groenlandia?
10. ¿Cómo puede afectar el aumento del nivel del mar a las poblaciones costeras?

La propuesta didáctica que generó el discurso se basó en el análisis de la exposición didáctica del proyecto Climántica (anexo II). Se trata de una exposición formada por 8 paneles, cada uno de los cuales sintetiza cada uno de los 8 capítulos del primer libro didáctico *¿Cambia el clima?* (Sóñora y Lires, 2007) del proyecto denominado Climántica. Para esta investigación el profesor mostró y explicó, antes de iniciar el coloquio, seis de los ocho paneles de las que extrajo las preguntas del coloquio de esta forma:

El panel 1 titulado “CO₂ temperatura y vida” aborda las diferencias entre tiempo y clima, la adaptación de especies a climas, los principales biomas y el papel del CO₂ en la

regulación de la temperatura. De las preguntas que figuran en el panel se seleccionaron las dos primeras preguntas del coloquio.

El panel 2 titulado “¿Quién determina el clima? aborda los diferentes tipos de radiación solar, sus filtros atmosféricos, el papel de la absorción y posterior emisión de energía infrarroja, el efecto invernadero, el papel de la vegetación en la regulación de los niveles de CO₂ en los bosques juveniles y los océanos como sumideros de CO₂. De las preguntas que contiene se seleccionó la que se secuenció de tercera en el coloquio.

El panel 3 titulado “Evidencias del cambio climático” aborda las evidencias de los datos instrumentales, especialmente las series de temperaturas medias de más de 30 años, el deshielo, las evidencias de la subida del nivel del mar como es el caso del cierre de las compuertas del Támesis, en los seres vivos tanto a nivel fenológico como a nivel de movimientos y periodos migratorios. De su secuencia de preguntas se seleccionó para este estudio de caso la cuarta pregunta del coloquio.

El panel 4 titulado “Causas de los cambios climáticos” expresa las causas de los cambios climáticos normales para fundamentar las características singulares del cambio climático antropogénico, explicando la alteración del ciclo con la apertura de nuevas vías de salida del C de los combustibles fósiles a la atmósfera. De este panel se extrajeron la quinta y la sexta pregunta del coloquio.

El panel 5 titulado “El cambio climático en los ecosistemas terrestres” recoge información sobre las previsiones de aumento de temperatura establecidas por el informe IPCC 2007. Sobre estas previsiones de incremento de temperatura global del escenario medio, se ilustran con imágenes los datos a los impactos sobre los ecosistemas terrestres que se podrían derivar de esas previsiones. De este panel se extrajo la séptima pregunta del coloquio de este caso.

El panel 6 titulado “El cambio climático en los ecosistemas oceánicos” recoge los datos instrumentales relativos a la subida del nivel del mar y del aumento de su temperatura en Galicia en los últimos 30 años. Mediante recursos gráficos se relacionan el aumento de la temperatura del océano, con el deshielo y la subida del nivel del mar. También se recogen en este panel posibles impactos en el medio oceánico que se podrían derivar del escenario medio planteado en el informe IPCC 2007. De este panel se extrajeron las preguntas de investigación octava y la novena. La décima la formuló el docente ante las dificultades que se encontró para que argumentaran sobre los impactos del cambio climático en sus costas en la respuesta de la novena.

La unidad se desarrolló en marzo, el día anterior a las vacaciones de Semana Santa, quedando la exposición en el hall durante el mes de abril. Para tener continuidad en el desarrollo de la unidad didáctica, el profesor cambió con el docente que tenía clase a continuación con el grupo una sesión, para disponer de dos sesiones consecutivas (100 minutos). De ellos dedicó los primeros 20 minutos a analizar el contenido de la exposición, que se mantendría en el hall del centro después de vacaciones, todo el mes de abril.

Como los 20 primeros minutos el docente los usó para explicar la exposición, se utilizaron 80 minutos en el coloquio cuyo discurso fue grabado, transcrito y categorizado en la totalidad de la argumentación colaborativo para responder cada cuestión. A partir de la transcripción se representó un diagrama del discurso y un esquema del argumento que

expresan los resultados derivados del discurso y la argumentación en la respuesta a la pregunta. El análisis del discurso y argumentación recogido en los resultados conllevó una interpretación y discusión sobre la coherencia y desarrollo del proceso de modelización.

Este estudio, además de contribuir a las respuestas a la segunda pregunta de investigación general (PI2), siguiendo las orientaciones del segundo objetivo de investigación (O2), en sus dimensiones particulares se orienta por su objetivo específico particularista:

- Analizar pautas de argumentación y su incidencia en procesos de modelización en contextos curriculares ordinarios de la modalidad científico – tecnológica del Bachillerato en los que el docente dirige los coloquios orientados a desarrollar capacidades de argumentación para conseguir dar respuestas a preguntas relativas a las ciencias del cambio climático.

Este objetivo particularista propio del caso se planteó para orientar las respuestas a estas dos sub-preguntas particulares para este estudio de caso:

1. ¿Cómo conduce el docente argumentación en función de la modalidad científico – tecnológica y de las necesidades de modelización?
2. ¿Cómo influye la modalidad científico-tecnológica en los procesos de argumentación y en la evolución de los modelos mentales sobre cambio climático?

Ese discurso transcrito, una vez categorizado, permitió obtener los mapas del discurso inspirados en Hogan et al. (2000), siguiendo los patrones de las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 de la metodología. A partir de estos mapas se construyen las representaciones sintéticas de los argumentos, que se plasmaron mediante los esquemas de Toulmin (1958). Para cuantificar la calidad de los argumentos representados se utiliza como herramienta de valoración la rúbrica expresada en la figura 3.1. Desde los resultados del análisis de la argumentación se abordó la modelización siguiendo el método inspirado en los trabajos de Gutiérrez (2004) y Justi (2006), que queda recogida en la figura 3.10 de la Metodología. Para la valoración de la validez de los modelos se utilizó la rúbrica de la tabla 3.2.

Los resultados fueron analizados, interpretados y discutidos siguiendo las orientaciones de O2 y del objetivo particularista del caso y respondiendo a la pregunta de investigación PI2, junto con las dos sub-preguntas particulares del caso. De este análisis, interpretación y discusión se obtuvieron las conclusiones particulares del caso que aparecen al final del caso. De ellas se desprenden ventajas e inconvenientes del desarrollo de estrategias de discusión en contextos como este en el que docente dirige la argumentación en relación a los casos 1 y 2 en el que los estudiantes argumentaban con más autonomía. Otro tipo de conclusiones obtenida del estudio de caso apunta a las dificultades para comprender bien el valor de la medida del aumento de la temperatura global para poder relacionarlo con diferentes factores que influyen en el sistema climático, y los efectos en cascada en los que una consecuencia pasa a ser una causa de otras consecuencias. En esta línea de relacionar causas y consecuencias se encontraron dificultades de aprendizaje. Entre las causas de estas dificultades que se encontraron destacan las dificultades para visualizar efectos del cambio climático en el entorno próximo, y a veces a una posible confianza excesiva del docente en el conocimiento básico del que disponen sus estudiantes por la modalidad que cursan. De los esfuerzos del docente, que tuvieron poco éxito, para reconducir modelos como la alteración del efecto invernadero, subida del nivel del mar y efectos sobre la adaptación de la vegetación a la

seguía se sacaron interesantes conclusiones a modo de recomendaciones para planificaciones didácticas sobre el cambio climático. Las dificultades para relacionar los posibles impactos globales del cambio climático con el entorno próximo permitieron extraer algunas de las implicaciones didácticas de este estudio.

4.3.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.3.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.3.1 recoge los resultados obtenidos del análisis y categorización del discurso relativo a la respuesta a la primera cuestión: ¿es malo el CO₂ para la vida?

El discurso de este primer evento de interés se centra en la argumentación relativa a si el CO₂ es importante para la vida.

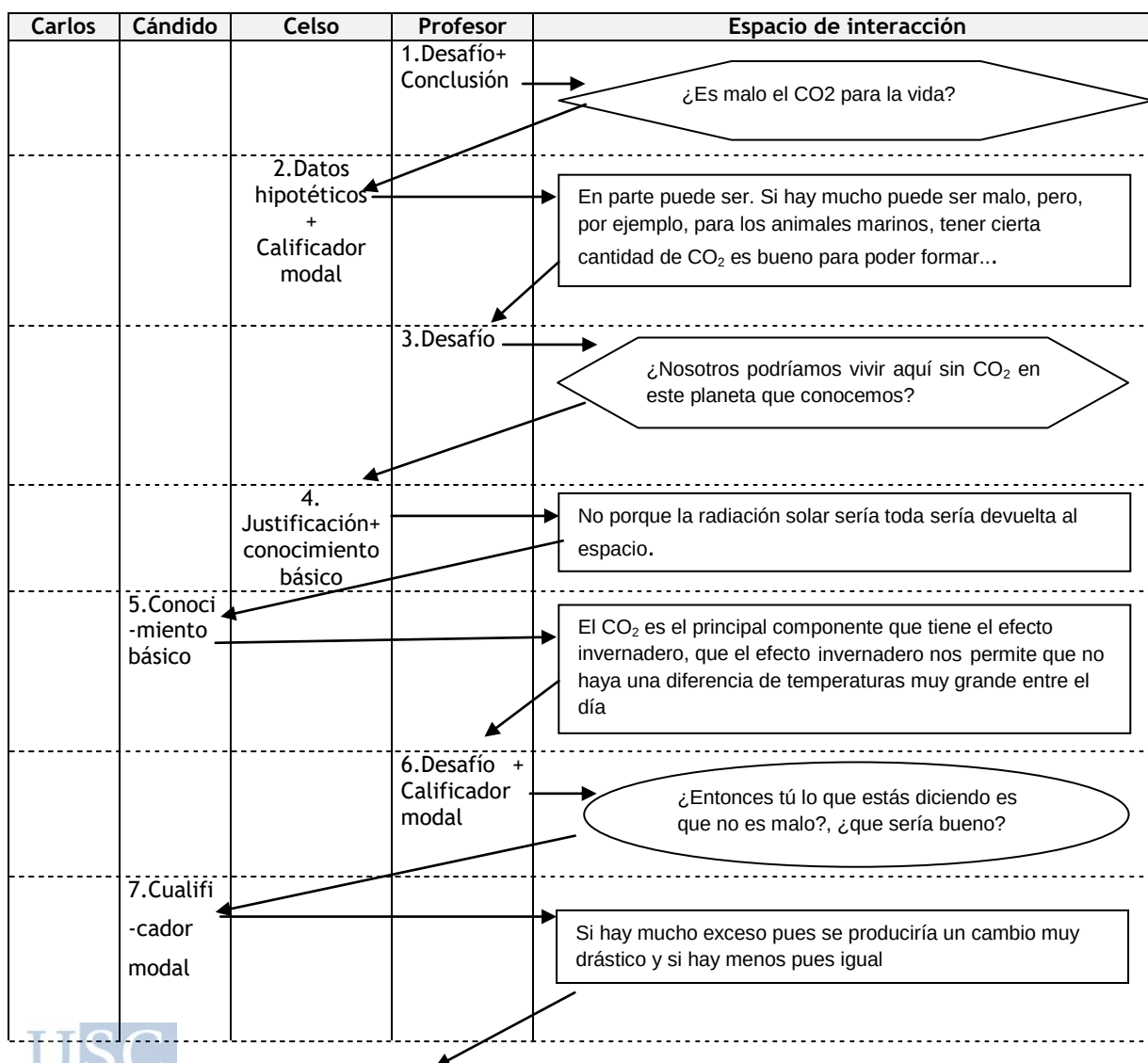
Profesor	<i>¿Es malo el CO₂ para la vida?</i>	Desafío	GC-CP
Celso	<i>...Eh... en parte puede ser...eh... si hay mucho puede ser malo, pero... por ejemplo para los animales marinos...eh... tener cierta cantidad de CO₂ es bueno para poder formar...</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>¿Nosotros podríamos vivir aquí sin CO₂ en este planeta que conocemos?</i>	Desafío	GC-CP
Celso	<i>No porque la radiación sería... la radiación solar sería toda ...eh... devuelta al espacio.</i>	Justificación y conocimiento básico	GC-CP
Cándido	<i>El CO₂ es el principal componente que tiene el efecto invernadero, que el efecto invernadero nos permite mantener las... que no haya una diferencia de temperaturas muy grande entre el día y la noche y no estemos así...</i>	Conocimiento básico	GC-CP
Profesor	<i>¿Entonces tú lo que estás diciendo es que no es malo?, ¿qué sería bueno?</i>	Desafío	GC-CP
Cándido	<i>Si hay mucho exceso pues se produciría un cambio muy drástico y si hay menos pues igual.</i>	Calificador modal	GC-CP
Profesor	<i>Carlos, ¿tú qué opinas?</i>	Desafío	IN-CP
Carlos	<i>Hombre que es bueno para la vida porque es el que permite la vida, pero lo malo es que en exceso cambia el clima, entonces los animales no podrían adaptarse rápidamente a ese cambio.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Bien, bien, de acuerdo. ¿Alguna opinión más con respecto a esto? Lo que más o menos decís es, lógico. En cierta medida parece bastante razonable porque</i>	Concesión. Datos empíricos. Calificador	

	<i>nosotros vivimos aquí y los seres vivos viven aquí desde hace mucho tiempo y “bueno” pues parece que en ese 0,03% si está.</i>		GC-CP

Figura 4.3.1. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.2.6 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 1.



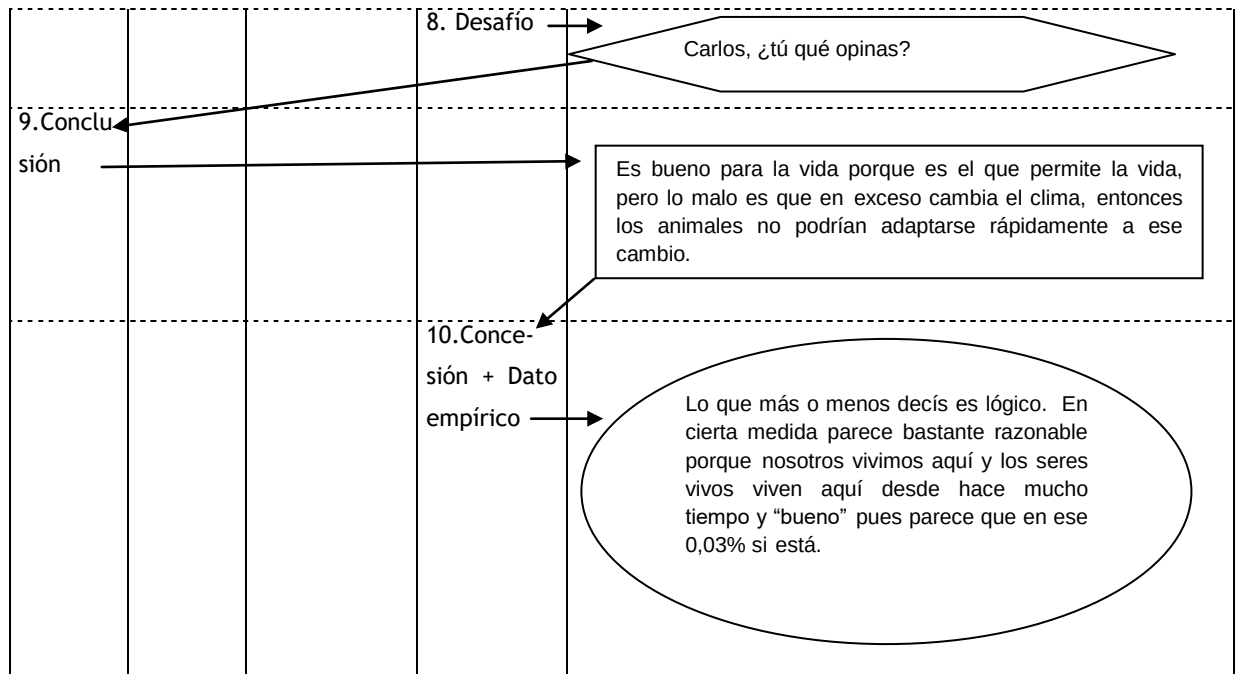


Figura 4.3.2 Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.3.3 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº1. Se destacan los elementos aportados por el docente con el color rojo del cuadro.

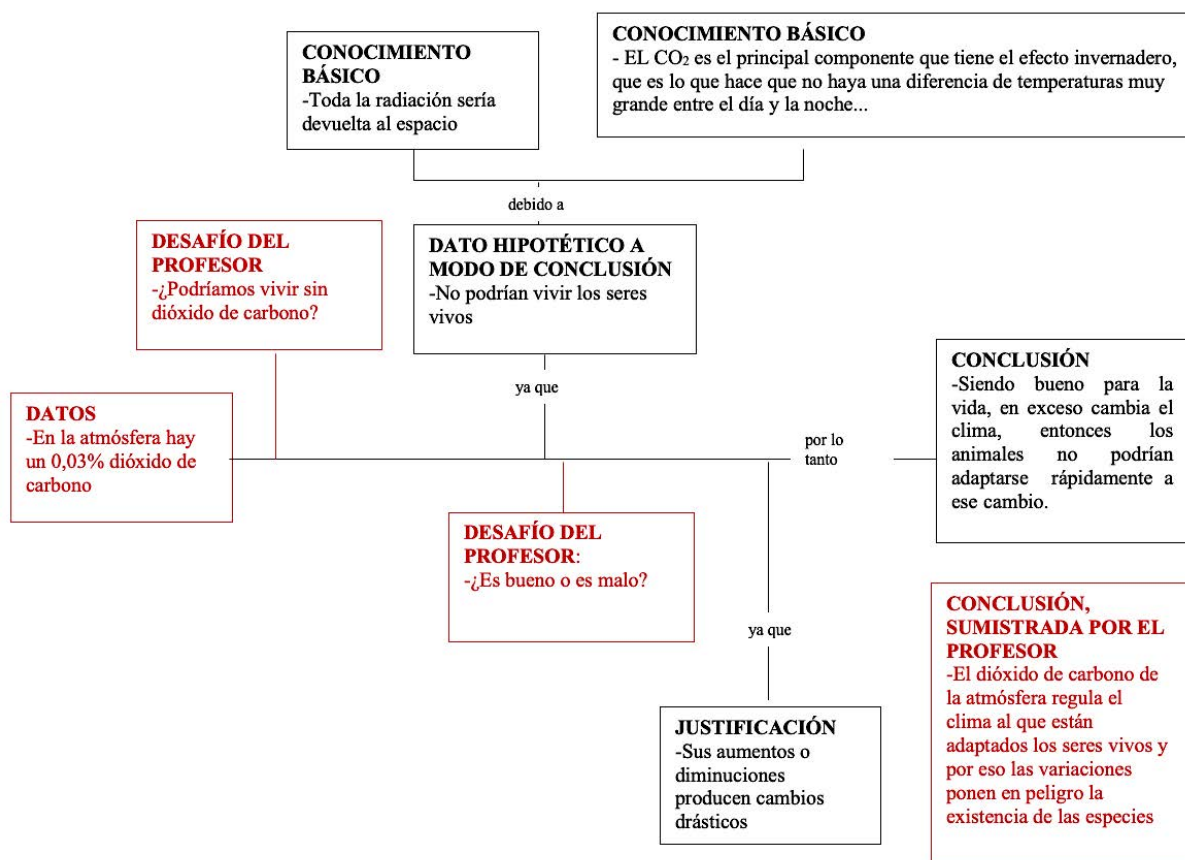


Figura 4.3.3. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima? en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente (los cuadros color de color rojo son aportaciones sustantivas del docente)

4.3.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión

Celso es el primero en intervenir y empieza aportando datos confusos, pero da la impresión de que admite que es solo malo en parte, y hace referencia a que para ciertos animales marinos puede ser necesario, sin concretar si para la fotosíntesis, para la formación de caparzones o para cualquier otra utilidad.

En su conducción del coloquio el profesor sitúa la pregunta de la necesidad para nosotros, posiblemente para cerrar la vía que parece que dejó abierta Celso, de que pueda ser útil para unas especies y malo para otras.

Ante este reto Celso parece aproximarse a las condiciones que justifican que el porcentaje de dióxido de carbono de la atmósfera fue clave para nuestra evolución y existencia, por su relación con la regulación de la temperatura. Sin embargo, lo formula como que lo que se retiene es la radiación solar y no la radiación calorífica emitida por la superficie de la tierra, pues dice que si no existiera dióxido de carbono toda la radiación solar sería devuelta a la atmósfera. Parece que interpreta la retención de calor por la atmósfera únicamente por la retención de la radiación solar que incide sobre este gas; no se aprecian referencias a la

retención del calor que emite la tierra, una vez que es calentada por la radiación solar incidente.

La retención de la luz solar por parte del dióxido de carbono y no del calor que emite la tierra es uno de los modelos alternativos más comunes sobre cambio climático, tal y como ya apuntaron Shepardson et al. (2011). Esto apunta a un interés por introducir en las investigaciones fórmulas para comprobar si contemplan en la causa del efecto invernadero la retención de calor que emite la superficie terrestre debido a las transformaciones energéticas derivadas de la absorción de la luz solar incidente. Comprobarlo llevaría a modificar cuestionarios como el que usaron Jeffries et al. (2001) en un estudio realizado con alumnado de primer año del grado en Biología en Reino Unido (267 alumnos y alumnas de 17 a 38 años). La introducción de esta modificación requeriría de un diseño diferente del formulario que permitiera saber si el 85% que eligen la opción que dan por válida los autores, de que la causa del cambio climático son los rayos solares que no pueden escapar. Este cambio en el cuestionario permitiría comprobar si están tomando en consideración la retención de radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre que resulta de la retención de la radiación solar incidente, o solo consideran la radiación solar que índice sobre la atmósfera. El interés de esta comprobación se ve reforzado por la evidencia que deja este estudio de que en gran parte del alumnado sigue presente la recurrente idea alternativa que vincula el cambio climático con un aumento de la entrada de radiación solar debido a la disminución de la capa de ozono.

Esta idea alternativa puede entenderse vinculada a un modelo mental que sitúa el cambio climático como resultado del aumento de retención de radiación solar incidente. Esta podría guardar cierto paralelismo con lo expresado por Varela et al. (2020) cuando hacen referencia a que atribuyen el aumento de la temperatura global a la radiación solar adicional que llega por el aumento del agujero de la capa de ozono. Esa interpretación de que el calentamiento por el aumento de dióxido de carbono se debe a una mayor retención de la radiación solar encuentra elementos de coherencia interna en el mismo modelo mental que da soporte a la idea alternativa de que el agotamiento de la capa de ozono hará que entre más luz solar a la tierra, provocando que su temperatura promedio aumente. Un modelo mental así podría estar dando explicación a esta relación entre el aumento del dióxido de carbono y el incremento de la temperatura promedio del planeta en base a que esta se produce porque el aumento del efecto invernadero provoca el cierre de brechas en la atmósfera (Kania et al., 2020) que hace que se retenga más radiación que llega del sol. En esta línea de razonamiento, de lo que expresa Celso puede extraerse que puede estar entendiendo que toda la radiación infrarroja que se retiene procede directamente del sol (Chang y Pascua, 2016) o incluso que se retiene radiación visible, en cuyo caso se trataría de una idea alternativa con paralelismo con lo encontrado por (Bodzin et al., 2014) en la que se le atribuía a la radiación visible del efecto albedo la capacidad calorífica de la radiación infrarroja.

En esta línea destaca el estudio realizado por Koulaidis y Christidou (1999) con alumnado de 11-12 años (educación primaria) donde, entre otros aspectos a considerar, categorizaba los modelos del alumnado en función de los tipos de radiación consideradas. A raíz de los resultados obtenidos, en los que ninguno de los 5 modelos resultantes consideraba la radiación terrestre, los autores ponen de manifiesto la necesidad de enfatizar la diferencia conceptual entre la radiación solar y la radiación terrestre, algo que la argumentación de Celso también parece evidenciar.

Pero tampoco se debe dejar de señalar en esta discusión sobre la argumentación en base a la primera cuestión de las diez seleccionadas para este caso, en un grupo de estudiantes que se están especializando en ciencias experimentales a través de esta modalidad de bachillerato, que su argumentación se acerca al conocimiento básico del efecto invernadero para justificar la relevancia del dióxido de carbono en la atmósfera para la vida. En esta línea Cándido aporta al discurso más aspectos relativos al conocimiento básico de la relevancia del efecto invernadero, concepto que enuncia de forma explícita, poniendo el ejemplo de su papel en la disminución de la temperatura entre la noche y el día. También especifica que el dióxido de carbono es el principal gas responsable del efecto invernadero, lo que evidencia que conoce que hay más gases responsables del efecto invernadero, ampliando de esta forma el conocimiento básico implicado en el discurso. También reconoce que hay unos niveles óptimos para la vida y expone que niveles superiores o inferiores pueden tener efectos drásticos.

El profesor demanda la aportación de Carlos, posiblemente porque intuye que puede aportar elementos que cierren la conclusión. La respuesta de este alumno fue concluyente al afirmar con toda seguridad que el dióxido de carbono es bueno para la vida, pero que su exceso perjudica al clima, mencionando dificultades de adaptación a esos cambios de los animales, lo que podría deberse a la simplificación que suele darse en estudiantes de primaria de reducir los seres vivos a los animales (Pujol, 2003) y que suele extenderse a secundaria.

Es posible que por ese motivo el profesor decida cerrar la conclusión extendiendo la concreción que él hizo al centrar el clima en los humanos para impulsar el desarrollo del discurso, extrapolando los efectos sobre nuestra especie al conjunto de los seres vivos, al incluirnos en su enunciado de forma explícita en el concepto del ser vivo. También decide completar el conocimiento básico del discurso aportando el dato empírico del porcentaje del 0,03% de dióxido de carbono existente en la atmósfera.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación mínima de 1 punto porque cuando se habla de la retención de la luz solar deberían referirse a la retención de calor emitido por la tierra y el porcentaje de dióxido de carbono de 0,03% lo aportó el profesor. En relación con el apartado de justificación se le otorga la puntuación media (2 puntos) por la concordancia aceptable en la justificación de la importancia del dióxido de carbono para la vida, aunque se sitúa esta importancia en los animales, que a nivel implícito se puede admitir conexiones con el conocimiento básico, teniendo presente la persistencia de la idea alternativa de restringir el concepto de ser vivo al de animal. En la conclusión se le otorga la puntuación máxima (3 puntos) porque se expresa con toda claridad la importancia del dióxido carbono para la vida, enunciando también los problemas que puede tener para el clima su exceso. Por tanto, se valora el argumento con una puntuación de 6 puntos sobre los 9 que tendría un argumento de valoración máxima.

La secuencia del flujo del discurso se correspondería con un patrón colaborativo expresado por la figura 3.6, lo que es coherente con lo categorizado por Hogan (2000) por tratarse de patrones propios de interacciones receptivas que se dan en contextos en los que el docente hace preguntas al grupo.

La modelización que se visualiza en esta argumentación no se puede considerar relevante en este estudio aplicando el análisis del método de modelización expresado en la figura 3.10

porque en el discurso no se identifica ningún evento que implique procesos de modelización que se desarrollen a través de las estrategias de argumentación colectiva que siguen los estudiantes.

4.3.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

4.3.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.3.4 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor sobre si es relevante para la vida un aumento de 3º grados centígrados de temperatura media, que implica diferencias significativas en cuanto a dominio climático, pero que resulta difícil percibir como significativa, puesto que entre la temperatura mínima y la máxima de un mismo día puede haber más de 20º C de diferencia.

Profesor	<i>¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?, Carmen, ¿tú qué opinas?</i>	Reto y datos	GC-CP
Carmen	<i>Si porque... en principio 3 grados puede ser que no parezca mucho, pero si lo dejamos pasar va a seguir aumentando la temperatura del clima y eso tiene consecuencias.</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>Y si non aumentara en realidad más, simplemente un cambio de temperatura de 3 grados. Así, justamente, ¿si no fuera a más el aumento?</i>	Desafío del profesor	GC-CP
Carmen	<i>Pues, hombre... sí que tendría consecuencias ¿no? Puede ser que no tantas como una subida más grande, pero tendría consecuencias, la subida del mar y...</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>Celestino, ¿tú?</i>	Desafío	GC-CP
Celestino	<i>Aunque que solo fueran 3 grados habría muchos animales que necesitarían adaptarse a ese cambio de temperatura, aunque no subiera más y durante un tiempo estarían cambiando de lugar o quedándose en un mismo sitio cuando antes cambiaban de lugar y...</i>	Justificación y conocimiento básico	GC-CP
Profesor	<i>Alguien más por allí... Cristian, ¿3 grados?</i>	Reto	GC-CP
Cristian	<i>3 grados cambia todo el proceso biológico, por ejemplo.</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>Qué es lo que..., el cambio más significativo, cuando hay un cambio de temperatura ambiental, ¿qué es lo que veis cambiar? Imaginar que en vez de estar aquí metidos en un instituto pues... "bueno", pues estamos allí en la Pastora mirando para toda la zona del río. Que cambia 3 grados a temperatura media, ¿hay algún cambio en paisaje que vais a ver?</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Va a ser más árido</i>	Dato hipotético	GC-CP

Profesor	<i>En alto, ¿qué va a ser más árido?</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Claro, que van a cambiar las plantas porque va a haber menos humedad...</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>Bien, ¿alguna cosa más? Eso de cambiar las plantas supone que cambia de ecosistema. Me refiero que al final vosotros sabéis que hay una relación, vale, humedad - temperatura, las dos variables...en realidad influyen sobre la vegetación, y la vegetación determina el resto de los ecosistemas de alguna forma, vale.</i>	Conclusión aportada por el profesor	GC-CP

Figura 4.3.4. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión

En la figura 4.3.5 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 2.

Celia	Cristian	Celestino	Carmen	Profesor	Espacio de interacción
				1.Dato+ Reto	Una diferencia de 3º C ¿tiene importancia para la vida?
			2.Justifica- ción		Puede no parecer mucho, pero si no reaccionamos va a seguir aumentando la temperatura del clima, llegando a tener consecuencias
				3.Desafío + Dato Calificador modal	¿Y si el aumento fuera justo 3º C, sin superar esa temperatura?
			4. Datos hipotéti- cos + Cualifica- dor modal		Tendría consecuencias, posiblemente no tantas como una subida más grande, pero tendría consecuencias como la subida del nivel del mar
				5.Reto a alumno	Celestino ¿tú?

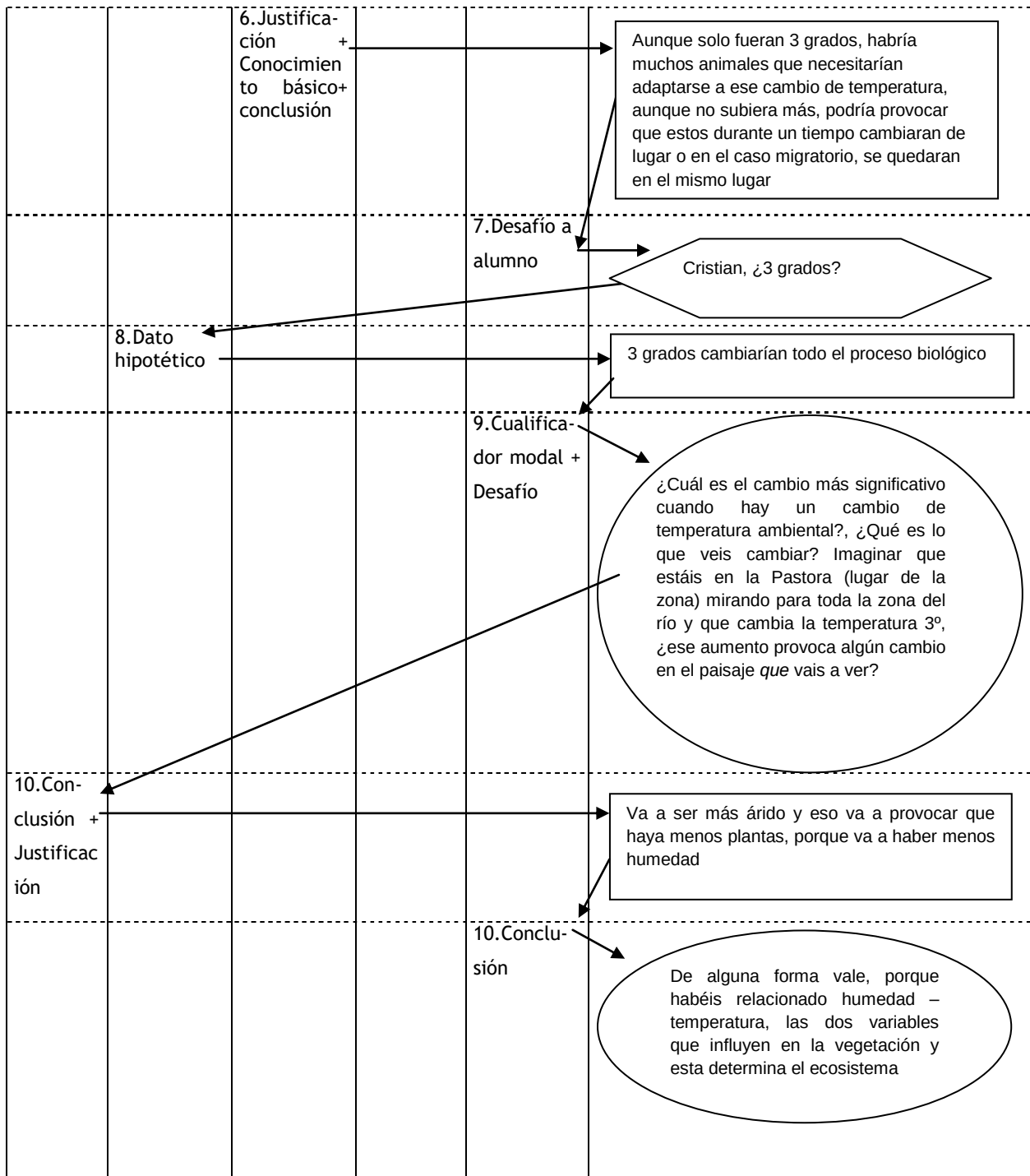


Figura 4.3.5. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.3.6 se representa la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº2 y en el que se destacan los elementos aportados por el docente con el color rojo del cuadro.

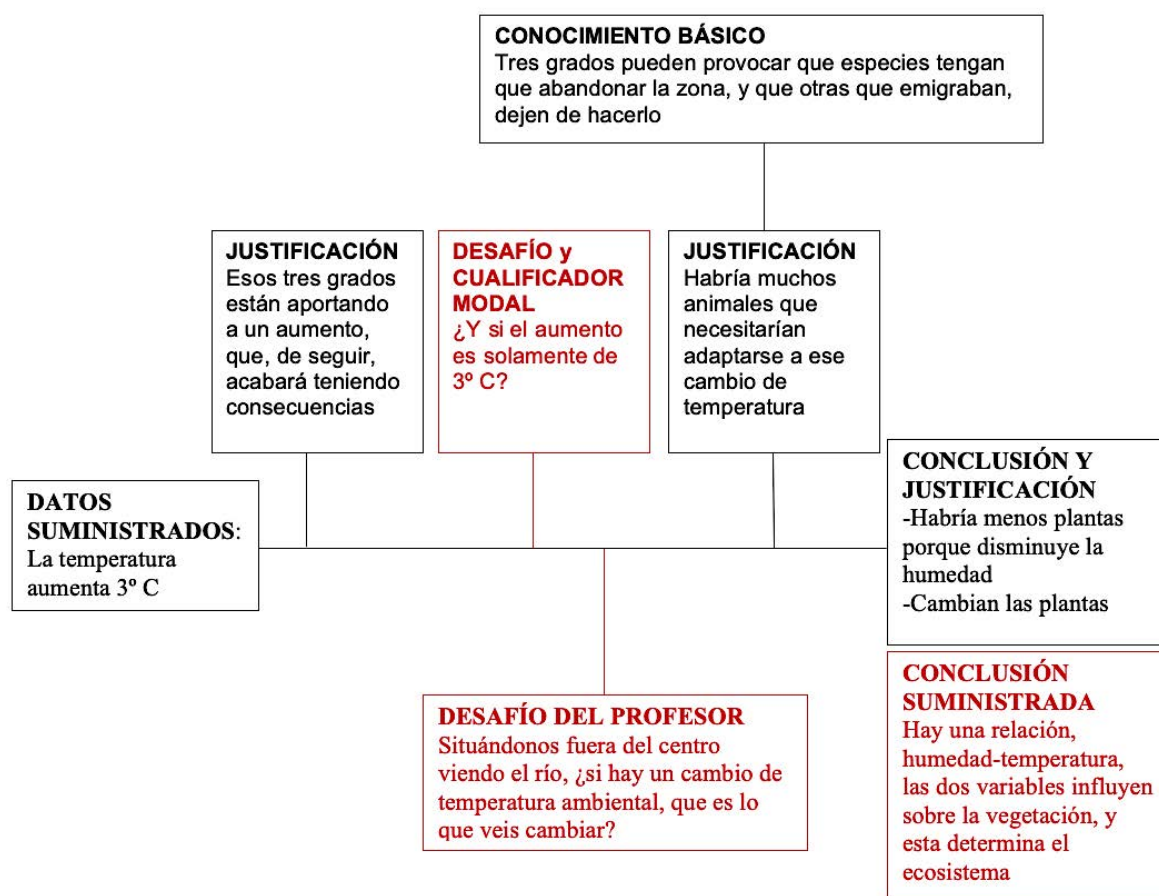


Figura 4.3.6. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima? en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente (los cuadros de color rojo contienen aportaciones sustantivas del docente).

4.3.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

Ante el reto lanzado por el profesor preguntando si una diferencia de 3° C es significativa para la vida, en principio Carmen parece interpretar esa diferencia como poco significativa, y solo relevante porque contribuye a un aumento, que, de seguir avanzado, podría acabar teniendo consecuencias para la vida.

Del enunciado de Carmen parece desprenderse que no da demasiada importancia al cambio de 3° C en la temperatura global, que se muestra como crítico en los escenarios del IPCC para el avance del siglo XXI. Parece evidenciar dificultades para entender que una

diferencia de 3° C, en términos de temperaturas medias y globales, conlleva ecosistemas y adaptaciones al medio diferentes a las actuales, que ponen en peligro la existencia de muchas especies entre las cuales no podemos excluir la nuestra. Posiblemente en esta interpretación influye el hecho de que, como se ha indicado previamente, en nuestras vivencias cotidianas podemos llegar a experimentar en un mismo día diferencias que pueden llegar a más de 20° C entre la temperatura mínima y la máxima diaria. Esta dificultad de la comprensión de la magnitud del aumento de temperaturas promedio en 3° C son coherentes con el sesgo geofísico que expresó Heras (2013) del que derivan concepciones erróneas que dificultan una valoración adecuada de lo que significa el grado centígrado en temperaturas promedio porque se asocia a la dificultad de percepción en la sensación térmica del aumento de un grado centígrado. Estas mismas dificultades para diferenciar tiempo y clima se evidencian en los estudios de Bodzin et al. (2014) que concluyen que existe dicha laguna conceptual en estudiantes de 13-15 años. De ella es posible que derive lo expresado por Carmen.

Posiblemente el profesor percibió esa barrera para la comprensión cuando reaccionó a la respuesta de Carmen pidiendo valorar las consecuencias concretas del aumento de 3° C, dando por supuesto que el aumento no continuaría. Al hacer esto, descartaba el razonamiento de Carmen de que el aumento podría tener importancia en el sentido de que representaría un sumatorio que, de ser bastante mayor, podría acabar siendo relevante.

Una vez acotado este aumento es cuando el profesor reclama la intervención de Celestino. Este aplica correctamente conocimiento básico de los impactos del cambio climático sobre la etología y la adaptación de los animales a un ecosistema cuando concluye que los animales podrían tener que irse del lugar, o bien, si son migratorios, con esa diferencia podrían no tener la necesidad de emigrar. De esta forma, con los efectos sobre la adaptación de los seres vivos le da relevancia al aumento de la temperatura global de 3° C, aunque se centra solo en animales, cuando los efectos sobre los productores son determinantes para el funcionamiento de todo el ecosistema. De nuevo aparece la representación implícita de la restricción del concepto de ser vivo al de animal (Pujol, 2003).

Posiblemente ante esta simplificación del concepto del ser vivo, el profesor lleva la imaginación de los estudiantes a los recuerdos del paisaje más húmedo próximo al centro, el correspondiente al borde del río donde la humedad permanente del suelo determina el tipo de vegetación. Activando en las memorias este ecosistema húmedo, parece que el docente persigue introducir en los modelos implícitos de los estudiantes la relación de los elementos del clima con la adaptación de la vegetación a los elementos interdependientes del sistema climático.

En ese contexto imaginado desde los recuerdos, Celia concluye que habría menos plantas propias de las que ahora viven en el humedal, justificando esa disminución de vegetación por la falta de humedad. El profesor acepta como conclusión la aportación de Celia, destacando que la relación entre los factores temperatura y humedad influye de forma significativa, determinando sobre la vegetación. De esta forma parece que el profesor echó en falta, en cierta manera, el razonamiento en términos de las relaciones interdependientes de los elementos del clima sobre la adaptación de las especies a los ecosistemas de los que forman parte.

coherente con la abstracción que supone valorar el grado centígrado en términos de temperaturas medias y globales propios del análisis climático, sobre todo por la influencia que tiene el grado centígrado en términos de análisis del tiempo de un día. Sobre la comprensión de estas relaciones Shepardson et al. (2017) destacan la importancia de que el alumnado comprenda y analice el sistema climático como tal: un sistema compuesto por una serie de elementos interdependientes, que interaccionan entre sí y, por lo tanto, en los cuales existen bucles de retroalimentación, de tal forma que el aumento de la temperatura global en 3° C puede resultar crítico sobre el sistema climático, conllevando efectos igualmente críticos sobre otros elementos, especialmente sobre la humedad. Por eso interesa que los estudiantes comprendan que el aumento de la temperatura de 3°C resultará crítico para las adaptaciones a los ecosistemas, por lo que inducirá cambios que fácilmente los puede poner en compromiso.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de Hechos se asigna la puntuación mínima (1 punto) porque los estudiantes no aportan datos de partida que permitan visualizar con claridad explícita ni implícita el conocimiento científico. En el apartado relativo a la Justificación se otorgan 2 puntos porque la concordancia de los hechos con las conclusiones se hace a través de conexiones implícitas referidas a los efectos del aumento de la adaptación de las especies, ejemplificando estas consecuencias con la emigración de especies animales que no podrían vivir en esas condiciones. Pero el conocimiento básico no acaba de ser pleno y oportuno por cuanto se centran en los animales y en la movilidad, siendo el docente quien tiene que buscar los efectos sobre las plantas de la retroalimentación de la temperatura y de la humedad que demanda la modelización de la retroalimentación de los cambios en los elementos del clima sobre los ecosistemas. Estas dificultades parecen concordar con el estudio llevado a cabo por Sweeney y Sterman (2007) que pone de manifiesto la baja competencia de profesorado y alumnado para comprender verdaderamente el funcionamiento de los sistemas, obviando procesos de retroalimentación aun cuando estos están presentes, no teniendo en cuenta el horizonte temporal y el retraso temporal de la respuesta en el sistema, no describiendo las existencias y flujos del sistema -algo fundamental en la ciencia del cambio climático para comprender los conceptos de sumidero y fuente de carbono-, etc.

El análisis de los apartados de hechos y justificaciones determinan que la valoración del apartado de Conclusiones sea de 1 punto, porque si bien formulan conclusiones, siempre inducidas por la dirección del docente, que apunta al modelo de la retroalimentación de los elementos del clima y su incidencia sobre el funcionamiento de los ecosistemas, no muestran en esas conclusiones el funcionamiento de estos sistemas y no incluyen ningún aspecto relativo a retroalimentación entre los elementos del sistema.

Por tanto, la valoración global de la calidad de la argumentación es de 4 puntos sobre el total de los 9 puntos que corresponderían a la valoración máxima de ese argumento.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso se observa una secuencia colaborativa provocada por el profesor, quien dirige el discurso pidiendo aportaciones directamente a los estudiantes y buscando hacer evolucionar los modelos que fueron explicitando los estudiantes para apartarlos de ideas alternativas y sesgos como son la poca importancia de los 3°C o la contextualización de las consecuencias sobre los animales.

No se identifica un proceso de modelización por parte de los estudiantes claro porque la relevancia de los tres grados no aparece destacada de partida ni explicitado con claridad. Los cambios en los ecosistemas se explicitan solo con migraciones de los animales. En ese sentido los esfuerzos del docente hacia la modelización dejaron orientaciones a seguir en la conducción de la argumentación hacia la modelización que se necesita: destacar efectos sobre la vegetación en base a la retroalimentación entre el aumento de 3°C y las condiciones actuales del suelo de los ecosistemas próximos, y también, a un nivel más implícito, trabajar la diferencia entre el grado promedio del clima y el grado del tiempo atmosférico.

4.3.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

4.3.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3

La figura 4.3.7 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la siguiente cuestión: ¿las selvas son sumideros de CO₂? La argumentación para responder a la pregunta busca saber si el modelo mental que tienen los estudiantes es el de sumidero, obviando los importantes procesos de respiración y de descomposición, que ocurren en las selvas, que hace que muchas selvas sean neutras. Aunque en este proceso de modelización no se puede perder de vista que selvas tropicales recientes pueden mantener potencial para retener carbono y los beneficios adicionales de las selvas tropicales que se evidencian en América Latina donde se visualizan importantes pérdidas ecológicas por la eliminación de bosques viejos por cultivos como la teca (Leff et al., 2002).

Profesor	<i>¿Una selva es un sumidero de CO₂? Sabéis lo que son las redes sumideros, ¿no?, (...), pues quiere decir se una selva lo que hace es consumir ese CO₂ que está en exceso. Si, dinos. Celestino.</i>	Desafío	GC-CP
Celestino	<i>Hombre pues, como leímos en el panel, depende de ... lo viejos que sean los árboles. Si es una selva que acaba de crearse hace poco y que están creciendo los árboles, pues sí, es un sumidero, pero se ya lleva unos años... si ya tiene una..., si ya son los árboles lo suficientemente viejos habría un equilibrio.</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Entonces cuando..., relacionado con esta pregunta ... la selva amazónica siempre se habló de ella como pulmón como tal, no, como sumidero de CO₂.</i>	Desafío y Datos	GC-CP
Celestino	<i>Hombre, yo creo que no, yo creo que también la selva amazónica ya tiene unos años, ¿no?, sería más bien un equilibrio: lo que ...lo que...comen de CO₂ lo respiran luego.</i>	Oposición y datos	GC-CP
Profesor	<i>Lo que., “bueno”, algo que absorbe.</i>	Acuerdo y conclusión	GC-CP

Figura 4.3.7. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.3.8 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo de clase en el grupo de clase de la modalidad científico-tecnológica respondiendo a la respuesta de la cuestión 3.

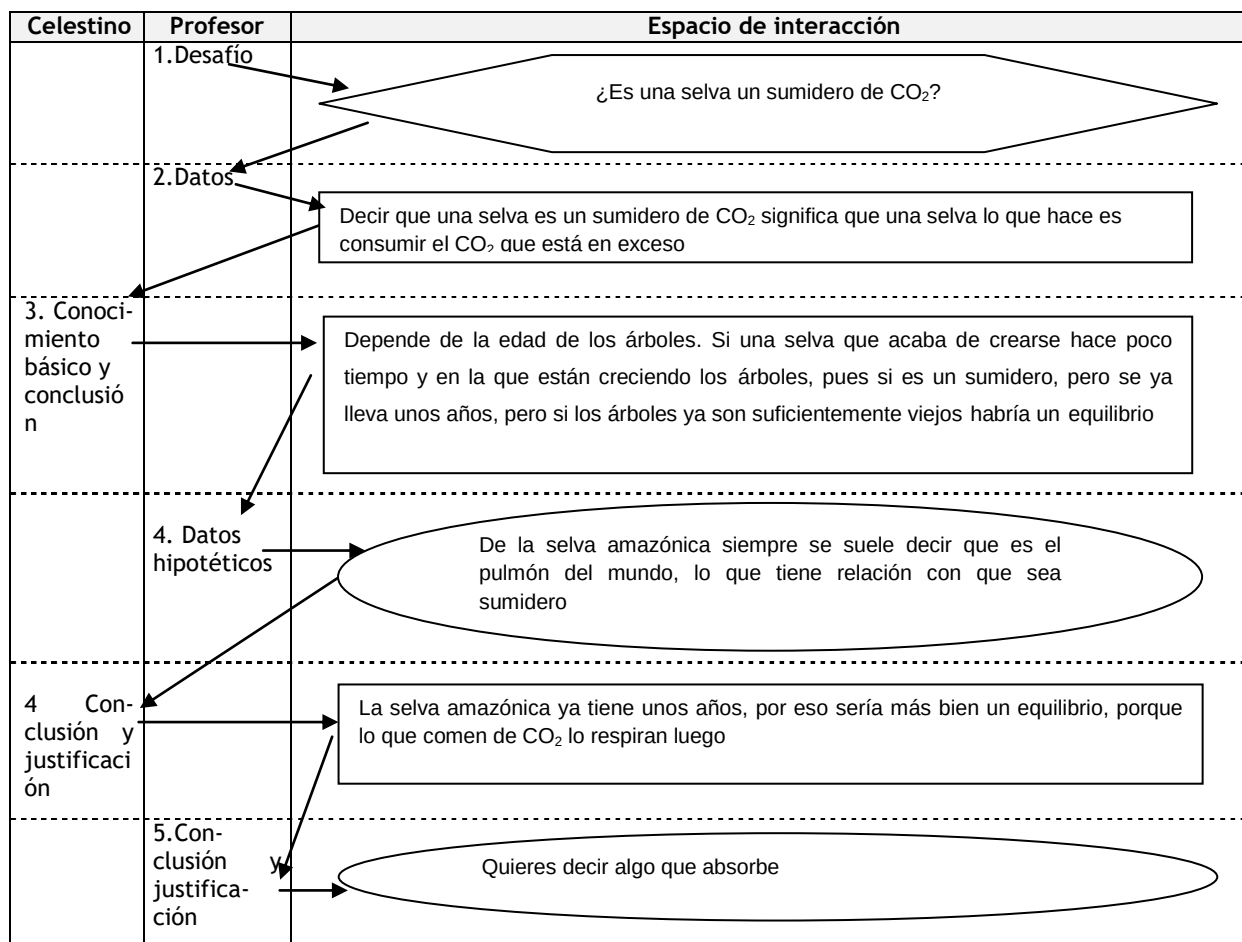


Figura 4.3.8. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.3.9 se representa la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº3 y en el que se destacan los elementos aportados por el docente con el color rojo del cuadro.

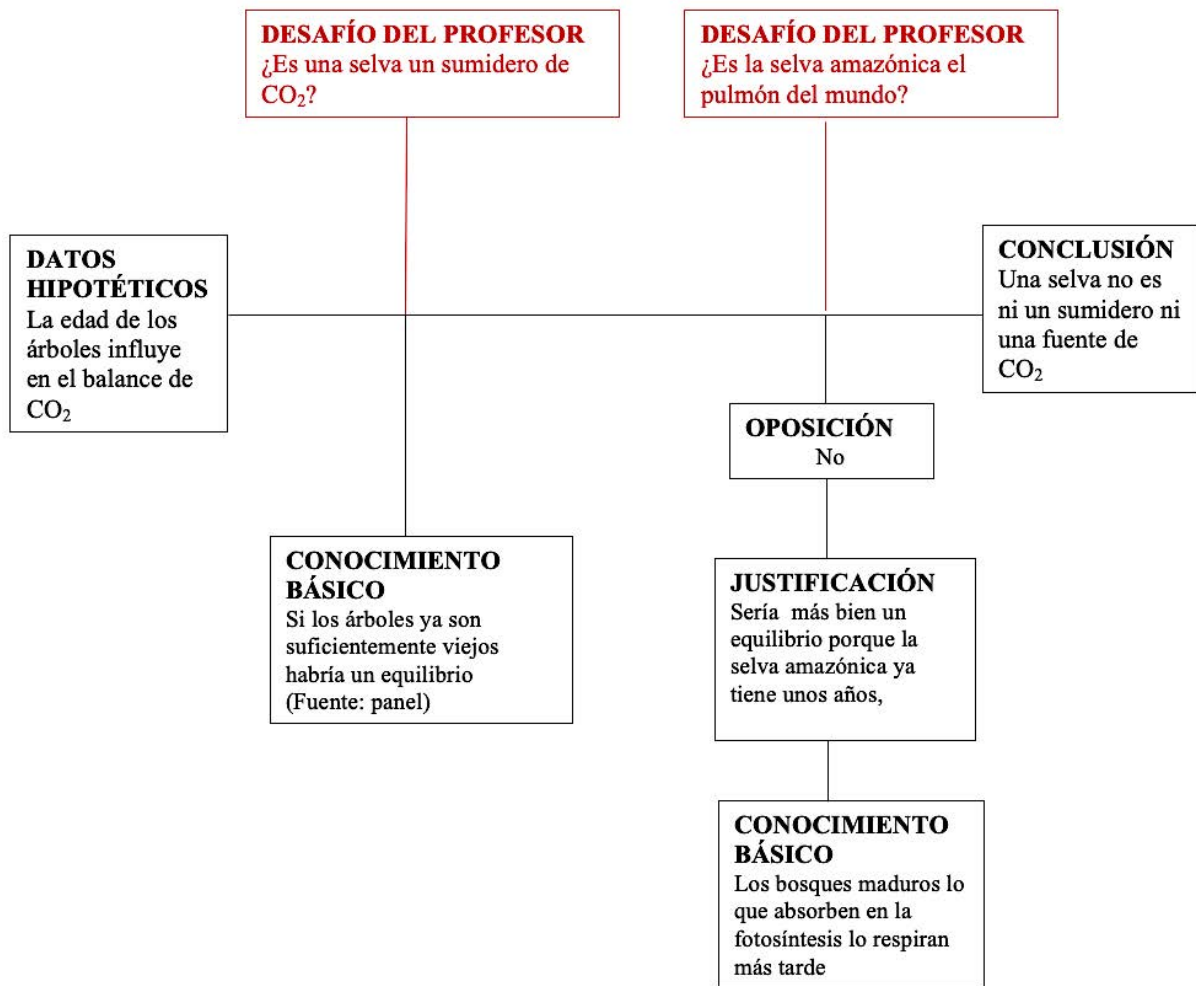


Figura 4.3.9. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

El docente parece ser consciente de que el bloqueo inicial para el desarrollo de la argumentación deriva de la falta de la comprensión del concepto sumidero, motivo por el que pasó a explicarlo. Una vez asimilado, Celestino condiciona ese hecho a que sea una selva joven, porque posiblemente analizando el panel de la exposición relativa a esta cuestión, entendió que un árbol juvenil fija más dióxido de carbono mediante el proceso de fotosíntesis que el que emite por el proceso de respiración. Pero lo que parece que no tiene presente en su análisis es el concepto de sucesión ecológica. De ser así se necesitaría introducir aquí una reformulación de la estrategia de argumentación para conseguir que los estudiantes entiendan que una selva es una comunidad clímax a la que se llega a través de una evolución en el tiempo en el ecosistema con cambios continuos en las poblaciones, pasando de una inicial con especies colonizadoras hasta llegar a las propias especies que forman la selva.

Posiblemente por esa deficiencia de conocimiento básico es por lo que el profesor les hace reflexionar sobre el dicho de que la selva es el ‘*pulmón del mundo*’. La respuesta de Celestino es coherente con el concepto de la selva como equilibrio, pero llama la atención la falta de rigor para referirse al proceso de fotosíntesis, al que se refiere como que la planta come. Sin embargo, parece entender bien que este proceso fija CO₂ y por tanto tiene una dimensión de sumidero, contrario al de fuente que le corresponde a la respiración. Posiblemente esa falta de rigor en la aplicación del conocimiento básico asimilando la fotosíntesis con el proceso de comer es lo que lleva al profesor a hacerle la observación de que “*algo que se absorbe*”, al tiempo que da por válida la argumentación del discurso de Celestino. Esta validación que hace el docente de la expresión “*come*” posiblemente se deba a que lleva implícito el significado de autótrofo, y, por tanto, indirectamente, podría estar incluyendo el papel de la fotosíntesis como proceso facilitar de la fijación de carbono. Por eso la validez que da el docente a lo argumentado por Celestino, a pesar de la falta del uso riguroso del concepto de la fotosíntesis, puede tener que ver con que el docente considera que Celestino puede tener claro el concepto de sumidero de carbono, a pesar de incluir ideas alternativas como el concepto de comer donde debería ir el de fotosíntesis. También parece comprender su evolución a lo largo del tiempo en función de la edad del árbol. Pero el hecho de que no explicita el concepto de fotosíntesis puede ser un indicio de baja competencia para comprender verdaderamente el funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono (Sweeney y Stermann, 2007). A pesar de que esta dificultad para entender el sistema complejo de flujo del carbono entre los ecosistemas y la vegetación mediante la participación de la fotosíntesis como sumidero y de la respiración, descomposición y combustión como flujo de los ecosistemas a la atmósfera, existen estudios que ponen de manifiesto que el alumnado tiene la representación mental de que los bosques son sumideros, sin entrar en justificaciones de este balance. En esta línea, diferentes estudios encontraron como el alumnado habitualmente propone la reforestación, o medidas contra la deforestación como el reciclaje, como una posible medida para hacer frente al calentamiento global, asumiendo por lo tanto un rol generalizado de la vegetación como sumidero de carbono (Shepardson et al., 2009; Kilinc et al., 2008). Posiblemente esto explique la rápida llegada a la conclusión de Celestino de que la selva es un equilibrio en lo que “*comen*” de CO₂ lo respiran luego.

Al dar por válida esta expresión de “*comen*” el docente pierde una interesante oportunidad para comprobar si Celestino tiene superada la dificultad de aprendizaje señalada por Shepardson et al. (2009), cuando afirma que los estudiantes no son conscientes del periodo temporal necesario para llevar a cabo un secuestro de carbono lo suficientemente grande como para hacer frente a las concentraciones actuales de carbono. Solo si entienden bien la participación de la fotosíntesis (sumidero) y de la respiración y descomposición (fuente) podrán ser conscientes de la viabilidad, coherencia científica y significado de la expresión de que la mitigación del cambio climático se puede conseguir aumentando la superficie forestal. En coherencia con esta posible barrera temporal para la comprensión del secuestro de carbono por las masas arbóreas, también supuso una ocasión perdida para preguntarles si creen que a la reforestación a nivel mundial puede tener un efecto inmediato en la mitigación del cambio climático. De esta forma se podría orientar la modelización hacia la consciencia del tiempo necesario para el secuestro y de la necesidad de racionalizar los cultivos para evitar riesgos de todo tipo, incluidos los incendios, y de otro tipo de emisiones como las posibles mineralizaciones derivadas del manejo del suelo para realizar esos cultivos forestales.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología se le otorga 2 puntos por el apartado de Hechos porque enuncia un dato hipotético y genérico con coherencia científica porque la capacidad de los árboles de actuar sumideros de dióxido de carbono depende de la edad. En cuanto a la Justificación se le otorga también 2 puntos porque existe una concordancia entre esos hechos hipotéticos abstractos que enuncian sobre la retención de C en función con la edad porque lo ligan con la respiración y la fotosíntesis, si bien la relación de la fotosíntesis con la fijación del carbono no se usa con el suficiente rigor. En lo relativo a la conclusión se le otorga 3 puntos porque llegan a la conclusión de que, en los bosques maduros, entendiendo como tal una selva, no son ni sumidero ni fuente, por lo que el modelo que sustenta la conclusión tiene coherencia suficiente para la ciencia escolar.

Por tanto, se le otorga una puntuación global de 7 puntos del total de 9 puntos que se le puede asignar por la calidad del argumento.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso resulta ser consensual porque es Celestino quien hace las contribuciones sustantivas, que al ser centradas en el modelo de la ciencia cierra rápido la argumentación por tener a favor el acuerdo del docente.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización, aunque Celestino justifica que los bosques maduros no sean un sumidero ni una fuente por una compensación entre lo que respiran y lo que comen, el profesor lo da por válido aun no citando la fotosíntesis en la asimilación, porque comer lo entiende en el contexto del modelo de ciencia escolar válido. Aplicando el esquema de análisis de la metodología inspirado en Gutiérrez (2004) para la introducción de los modelos en el currículo y por Justi (2006) en lo relativo a la construcción de esos modelos se identifica en la respuesta un evento de interés modelizador. Pero para su uso en la ciencia escolar debería revisar los símiles usados para la asimilación mediante el proceso de la fotosíntesis y la graduación de los tres modelos de bosque, juvenil (sumidero), maduro (en equilibrio) o senil (fuente) que puede llevar a una representación gráfica con flechas de diferentes grosores entrando (fotosíntesis) y saliendo (respiración, descomposición y combustión) de los árboles del bosque. Según este planteamiento en un bosque juvenil habría una flecha gruesa entrando y una flecha delgada saliendo (se modelizaría así su papel de sumidero), en un maduro (comunidad clímax) habría flechas de igual grosor para expresar las entradas y salidas (modelización del equilibrio) y el caso de un bosque senil habría una flecha gruesa para modelizar las salidas y una delgada para las entradas (modelización de fuente).

En la revisión del proceso de modelización encontrado en la argumentación de esta pregunta se detectó la necesidad, y también la oportunidad, de introducir el suelo como gran reservorio de carbono en la naturaleza (Dimas y Gnacadja, 2009), para poner de manifiesto la existencia de un equilibrio en los suelos de la selva entre las tasas de entrada y de salida de carbono orgánico de origen animal y vegetal por lo que, no solo en los árboles de la selva, sino también en el suelo selvático, existe entre un equilibrio entre su papel de fuente y de sumidero del CO₂ atmosférico (Six et al., 2002) debido a diferentes factores entre los que destacan los regímenes térmicos y pluviométricos de la selva.

Por tanto, la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la rúbrica expresada en la tabla 3.2 para valorar el proceso de modelización se le asigna la valoración del patrón 1b (3 puntos) por el apartado de iniciativa, autonomía y rigor porque

expresan en el argumento un modelo que no es suficientemente claro pero comprensible y coherente, siendo poca la ayuda recibida por el docente. También se le asigna la valoración del patrón 2b (3 puntos) por la concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones. Por tanto, la puntuación que se le asigna por el proceso de modelización es de 6 puntos sobre el total de 8 puntos.

4.3.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

4.3.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4

La figura 4.3.10 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la siguiente cuestión: ¿cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar? Se desarrolla una amplia argumentación que implica interpretaciones que relacionan el deshielo con el aumento de la temperatura debido al calentamiento global y el principio de Arquímedes. Comprende el discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre las causas de la subida del nivel del mar.

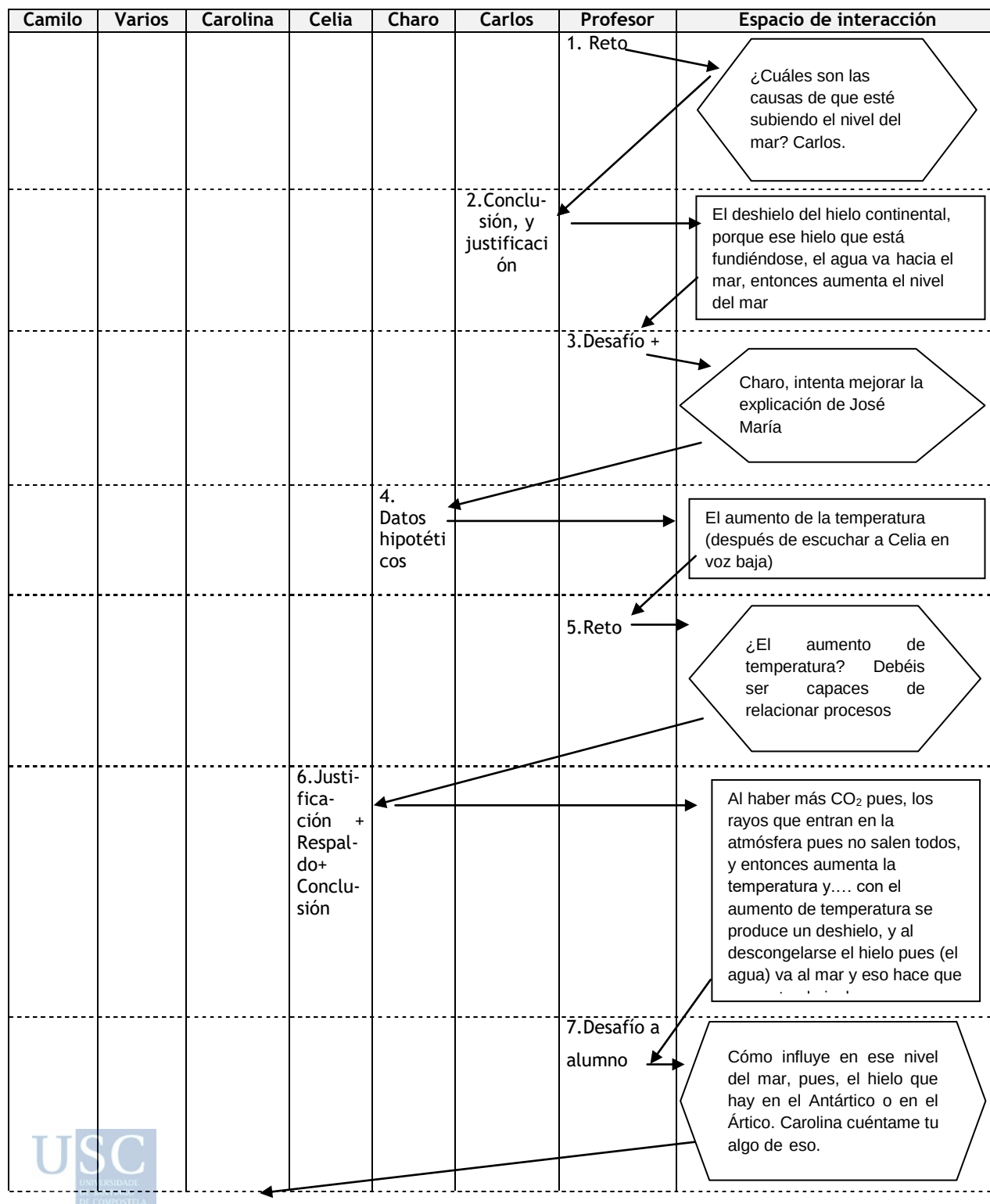
Profesor	<i>¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar? Carlos.</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>Eh... el deshielo del hielo continental, porque ese hielo que está...eh...fundiéndose...eh... el agua va hacia el mar, entonces aumenta el nivel del mar....</i>	Datos, Justificación, Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>(....) Sara, intenta mejorar la explicación de Carlos, que yo entiendo, la cuestión y la capacidad de expresión, ser capaz de sintetizar, no. La pregunta es esa, (...) cuales crees que son las causas de que el nivel del mar esté subiendo, porque Carlos habla del deshielo, pero, “bueno”, ahí hay algo más atrás “todavía” ¿no?</i>	Desafío	GC-CP
Celia en voz baja	<i>El aumento de la temperatura. (Charo lo repite en voz alta)</i>	Dato hipotético	GC-CP
Profesor	<i>Aumenta la temperatura. Tenéis que ser capaces de relacionar unos procesos con otros.</i>	Acuerdo, Desafío	GC-CP
Celia	<i>Que al haber más CO₂...</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>En alto Celia, que tienes una voz que he escuchado otras veces.</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Al haber más CO₂ pues... eh...los rayos que entran en la atmósfera pues... no salen todos y entonces aumenta la temperatura y.... con el aumento de temperatura se produce un deshielo y al descongelarse el hielo pues va al mar y eso hace que aumente el nivel.</i>	Conocimiento básico, Justificación, Conclusión	
Profesor	<i>Vale, relacionado con eso que acabáis de decir del hielo... que alguien cuente alguna diferencia, vale, de cómo influye en ese nivel del mar, pues, el hielo que hay en el Antártico o en el Ártico. Por ejemplo, Carolina, cuéntame tu algo de eso.</i>	Desafío	GC-CP

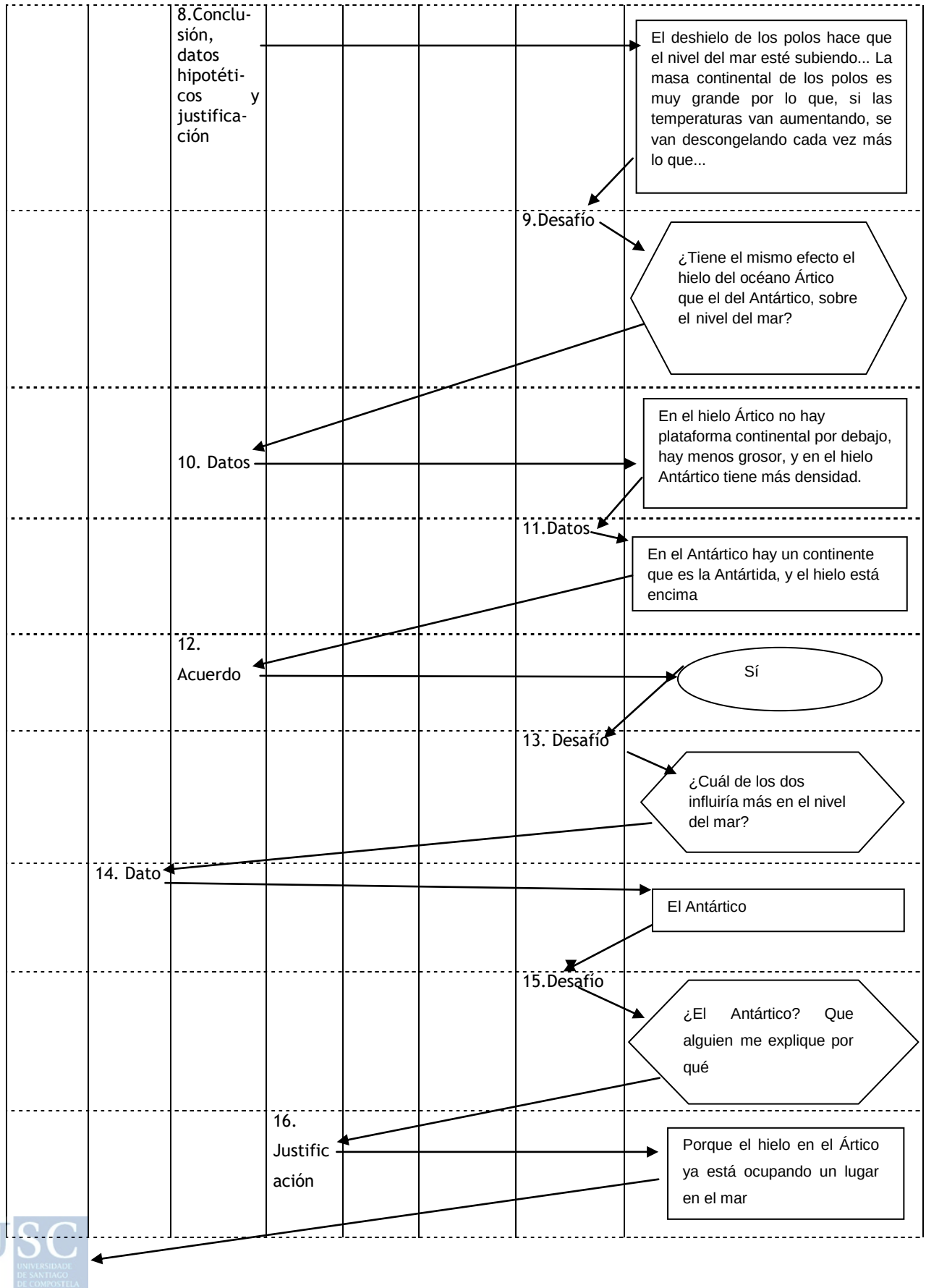
Carolina	<i>El deshielo de los polos hace que el nivel del mar esté subiendo... la masa continental de los polos es muy grande por lo que, si las temperaturas van aumentando, se van descongelando cada vez más lo que...</i>	Datos Justificación	GC-CP
Profesor	<i>¿Y tiene el mismo efecto? Me refería a si tiene el mismo efecto el hielo del océano Ártico que el del Antártico, sobre el nivel del mar.</i>	Desafío	GC-CP
Carolina	<i>No porque el hielo Ártico, Ártico es del Polo Sur, ¿no?</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>Ártico es del Polo Norte</i>	Datos	GC-CP
Carolina	<i>En el hielo Ártico non hay plataforma continental por debajo, hay menos grosor, y en el hielo Antártico tiene más densidad.</i>	Datos Oposición	GC-CP GC-CP
Profesor	<i>En el Antártico hay un continente que es la Antártida, y el hielo está encima.</i>	Datos	GC-CP
Carolina	<i>Sí</i>	Acuerdo	GC-CP
Profesor	<i>Bien, entonces, ¿cuál de los dos influiría más en el nivel del mar?</i>	Desafío	GC-CP
Varios	<i>El Antártico.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿El Antártico? Que alguien me explique por qué.</i>	Desafío	
Celia	<i>Porque el Ártico ya está ocupando un lugar en el mar.</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>Prefiero que lo expliquéis en alto</i>	Desafío	GC-CP
Camilo	<i>Sería como un cubito de hielo en un vaso de agua.</i>	Dato hipotético	GC-CP
Profesor	<i>A ver, explica eso del cubito de hielo y asimílalo a uno de los ejemplos.</i>	Desafío	GC-CP
Camilo	<i>Porque el cubito de hielo cuando se deshace no sube el nivel del vaso del agua, pero... entonces el nivel del mar no subiría...</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>¿Cuándo está flotando?</i>	Desafío	GC-CP
Camilo	<i>Sí, y si el hielo es continental, como no está dentro del agua al deshacerse hace que aumente el nivel</i>	Conocimiento básico	GC-CP
Profesor	<i>Bien, pues entonces en el caso de la Antártida el “cubito” de hielo del cubata está por encima de la roca</i>	Calificador	GC-CP

Figura 4.3.10. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.3.11 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 4.





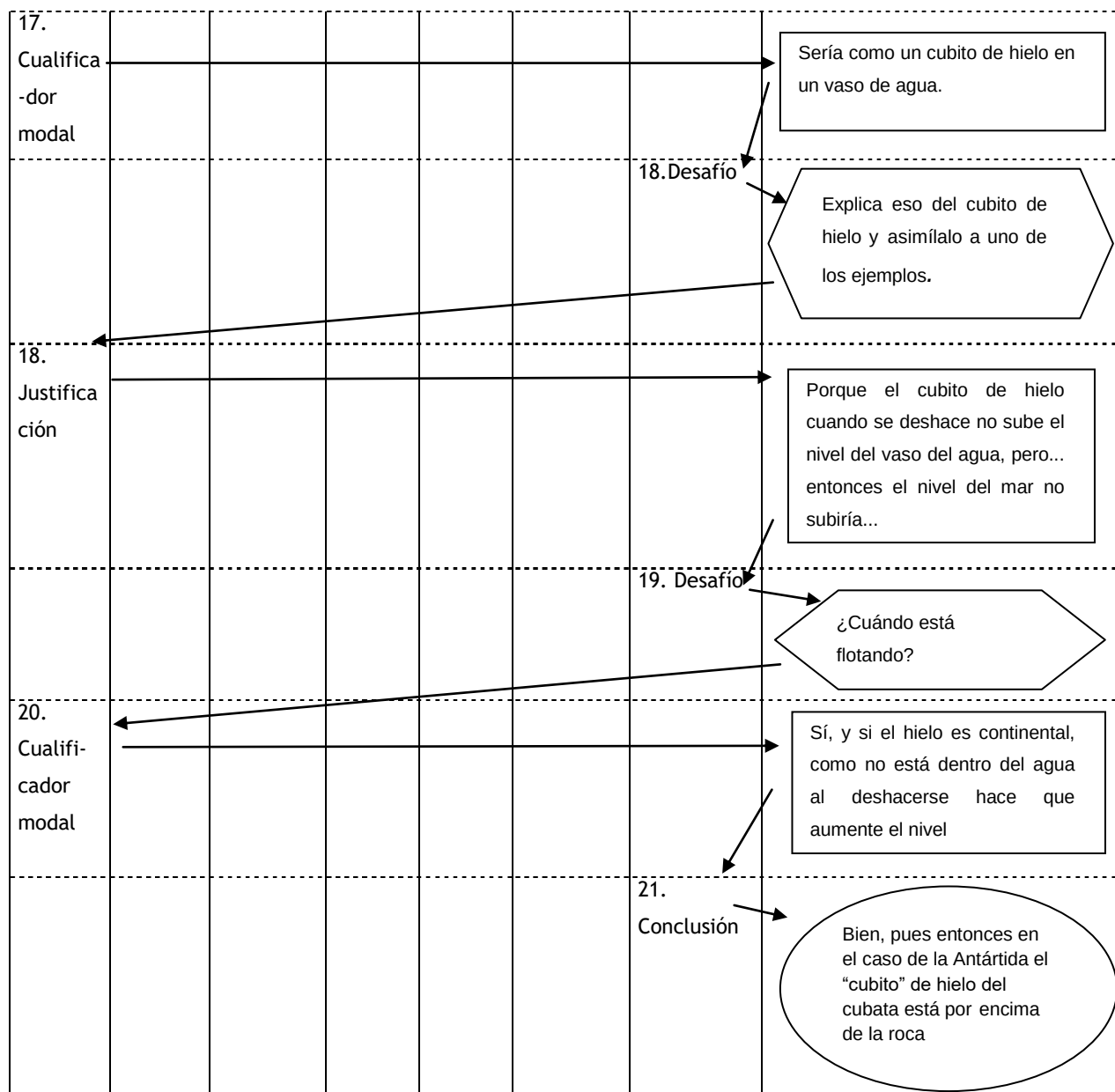


Figura 4.3.11. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.3.12 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 4.

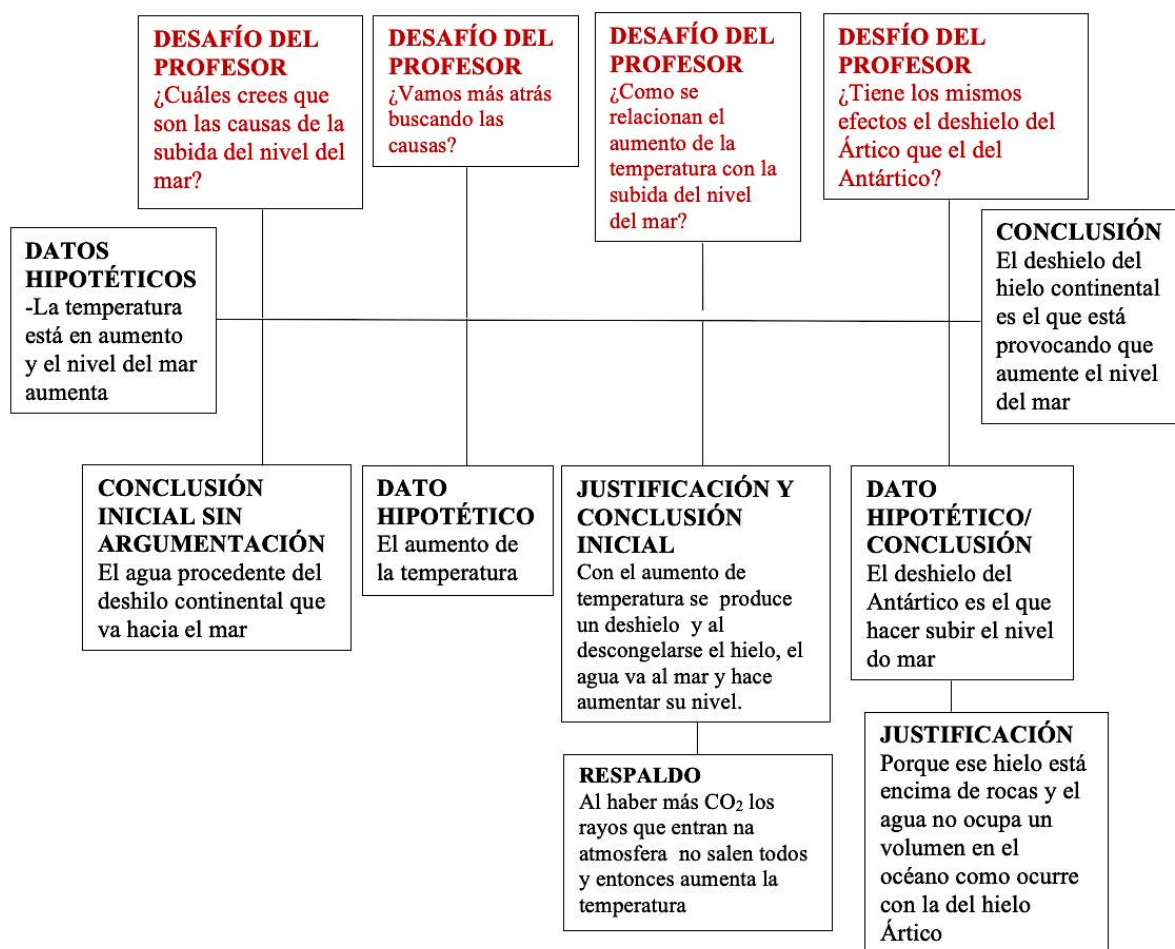


Figura 4.3.12. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente (los cuadros de color rojo recogen aportaciones sustantivas del docente).

4.3.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

De nuevo en esta argumentación surge la idea alternativa del calentamiento debido a la retención por parte del dióxido de carbono de la luz solar y no debido a la retención del calor emitido por la tierra (Shepardson et al. 2011).

En el discurso relativo a la respuesta colectiva a esta cuestión destaca la extensa argumentación relativa a las causas del aumento del nivel del mar, que cierta manera fue forzada su amplitud por los desafíos del profesor, pero en la que los estudiantes muestran un grado aceptable de seguridad en la argumentación expresada. Posiblemente ese empeño del docente por extender la argumentación se debe a que los estudiantes en ningún momento mencionan la dilatación del agua del mar como consecuencia del aumento de su temperatura.

Al no salir en el discurso esta segunda causa, después de invitarles a que relacionen todos los procesos derivados del aumento de temperatura, se centra en que argumenten bien la

relación de la causa del deshielo con la subida del mar. Para conseguirlo recurre a los ejemplos del Ártico y del Antártico. Esta ausencia de la consideración de la expansión térmica como un agente responsable del aumento del nivel del mar ya ha sido evidenciada por diferentes autores (McGinnis et al., 2017; Rebich y Gautier, 2005; Shepardson et al., 2011; Shepardson et al., 2017).

Sobre estos dos ejemplos correspondientes al deshielo de los polos, la argumentación se conduce de una forma bastante eficaz y certera hacia la conclusión de que solo el deshielo situado sobre continentes es el causante de la subida del nivel del mar. Justifican bien en base al respaldo del principio de Arquímedes que el hielo flotante no contribuye a ese aumento.

Durante la argumentación se asocia lo que ocurre en el Ártico con el proceso de deshielo de los cubos de hielo que flotan en un vaso, y que al derretirse no hace subir el nivel del líquido. En esa línea de argumentación explican la influencia del aumento del nivel del mar por el deshielo en el Antártico en base al símil del desborde en los vasos en los que el hielo que se derrite está acumulado a lo largo del vaso, y apoyándose unos sobre los otros, con contacto del inferior con el fondo. Estos símiles posiblemente los usen porque ese modelo didáctico se expresa en la exposición.

En esta ausencia del aumento de la dilatación térmica y en situar la influencia del deshielo del hielo continental pueden tener influencia el hecho de que los libros de texto no aborden con rigor estos factores. Así, Choi et al. (2010) destacan como la mayor parte de los libros de texto solo vinculan el aumento del nivel del mar con el deshielo, sin diferenciar entre hielo continental y flotante y obviando el papel de la expansión térmica. Esta argumentación pone en evidencia esa misma carencia en la dirección del discurso del docente, pues en ningún momento formula retos para introducir en la argumentación el componente de la dilatación térmica en el aumento del nivel del mar, centrando sus esfuerzos en diferenciar el papel del deshielo del hielo flotante del deshielo en el hielo continental.

Además de estas ideas alternativas relativas a la influencia del cambio climático, McGinnis et al. (2017) encontraron en estudiantes de secundaria, además de la idea alternativa de que el aumento del nivel del mar se vincula también al deshielo de los icebergs (hielo flotante), otras como la atracción gravitatoria existente entre la Luna y la Tierra, que en esta argumentación no aparecen, en la que en cuanto a la modelización, solo destaca como principal debilidad la ausencia del efecto de la dilatación térmica.

Pero la ausencia de esta alusión en la argumentación a la dilatación térmica debe tenerse en cuenta en las implicaciones didácticas del estudio porque, de acuerdo al último informe del IPCC sobre océanos y criosfera (2019), en el peor de los escenarios (RCP8.5) en el año 2100 se espera un aumento del nivel del mar de 0.84 metros a nivel global, de los cuales 0.3 metros se corresponderían al aumento del contenido en calor del océano -debe tenerse en cuenta que desde la Revolución Industrial el océano ha absorbido más del 90% del calor derivado del cambio climático antropogénico-, aspecto comúnmente olvidado a la hora de explicar las causas del aumento del nivel del mar. En ese sentido es importante cuantificar este porcentaje del 36% en el aumento del nivel del mar, pues en un océano en constante calentamiento esta dilatación térmica es importante, siendo este factor normalmente olvidado en los libros de texto y en los procesos de enseñanza y aprendizaje sobre el cambio climático, tal y como se ha evidenciado en el presente estudio de caso.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación mínima de 2 puntos porque parten de hechos hipotéticos con coherencia interna. En el apartado de Justificación, en comparación con lo desarrollado en las tres cuestiones anteriores se le puede otorgar la puntuación de 3 puntos, porque expresa una concordancia entre los hechos y las conclusiones con conexiones explícitas con el conocimiento básico correcto y oportuno, a pesar de que falte la alusión a la dilatación térmica. En el apartado de Conclusión se le otorga la puntuación de 2 puntos porque se usa un apoyo acertado con coherencia en la ciencia escolar, pero la ausencia de referencias a la participación de la dilatación térmica se considera relevante para la modelización que necesita la ciencia escolar para enseñar y aprender sobre ciencia del cambio climático.

Por tanto, se le otorga a la calidad de la argumentación 7 puntos del total sobre de los 9 puntos.

El mapa del discurso que se representa en la figura 4.3.8 sigue un patrón de secuencia de intervención colaborativa (Hogan et al., 2000) en la que los estudiantes hacen participaciones encadenadas entre ellos, siguiendo los retos que les formuló el docente y apoyándose en los datos aportados.

En cuanto al proceso de modelización se observa un evento que contiene un modelo de subida del nivel del mar por el deshielo del hielo continental. Se trata de una representación mental que coincide en parte con el modelo científico, que va en la línea de los modelos de la ciencia escolar que usa las analogías del hielo derritiéndose en el vaso e incluso va más allá, porque en los textos no diferencian entre el deshielo del hielo flotando y del hielo continental. Pero, aunque a este nivel del enfoque en los libros de texto tiene coherencia para ser un modelo estándar de los usados en la ciencia escolar, a efectos de sacar implicaciones didácticas sobre los modelos que necesita la ciencia escolar del cambio climático no puede considerarse como un modelo de éxito y debe revisarse introduciendo un andamiaje adecuado para que incorpore el papel del componente de la dilatación térmica, responsable de más del 30% de la subida del mar.

Siguiendo los patrones de la rúbrica de la figura 3.2 se le asigna la puntuación del patrón de referencia 1c (2 puntos) por el apartado de iniciativa, autonomía y rigor porque expresan un modelo claro, coherente y válido para la ciencia escolar, pero después de recibir ayuda necesaria significativa del docente. Por la evolución y madurez se le asigna la puntuación del patrón de referencia 2b (3puntos) porque, aunque existe concordancia entre los y hechos y conclusiones, falta incluir el factor de dilatación térmica en la subida del nivel del mar. Por eso la puntuación global del proceso de modelización es de 5 puntos sobre el máximo de 8 puntos.

4.3.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

4.3.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5

La figura 4.3.13 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar la respuesta a la quinta cuestión formulada para indagar sobre las relaciones que existen entre el uso del carbón y del petróleo y el aumento de temperatura.

Profesor	<i>¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?</i>	Desafío	GC-CP
Celso	<i>Porque al quemarlos se produce CO₂ que va a la atmósfera por lo que aumenta la capa y los rayos solares quedan... no pueden volver a salir al espacio y quedan más retenidos en la Terra, por eso aumenta la temperatura.</i>	Datos, Justificación y respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Está relacionado más o menos, pero me gustaría explicarlo de otra manera. Carmen cuéntame tú.</i>	Desafío	GC-CP
Carmen	<i>“Bueno”, también cuando se empezó a utilizar el petróleo...eh... “bueno” el carbón ya se llevaba utilizando, también tuvo un efecto que, por ejemplo, con el petróleo eran materiales que llevaban en el interior de la Tierra muchos años, entonces al sacarlos al exterior fue también un nuevo descubrimiento que se utilizó sin tener cuidado con las consecuencias que podía tener, que por ejemplo, el petróleo desprende... en cualquiera de sus usos desprende muchísimos gases que afectan a la capa de ozono y a muchas cosas más.</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>¿Qué similitud hay o que compartimos el CO₂, el petróleo y nosotros, químicamente?</i>	Desafío	GC-CP
Varias voces	<i>Carbón.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>¿Carbón?</i>	Reto	GC-CP
Varias voces	<i>Carbono.</i>	Datos	
Profesor	<i>Bien, entonces sois capaces de comprender que, “bueno”, que al final si nosotros nos morimos que la composición de nuestro organismo tiene que ir a algún sitio, vale. (...) al descomponerlo las bacterias, ese carbono que consumen, cuando respiran a la atmosfera y si las bacterias también se mueren pues en determinadas circunstancias podría transformarse en carbón o en petróleo.</i>	Desafío	GC-CP

Figura 4.3.13. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.3.14 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso resultado de responder a la quinta cuestión en un coloquio dirigido por el docente en un grupo clase en la respuesta a la cuestión 5.

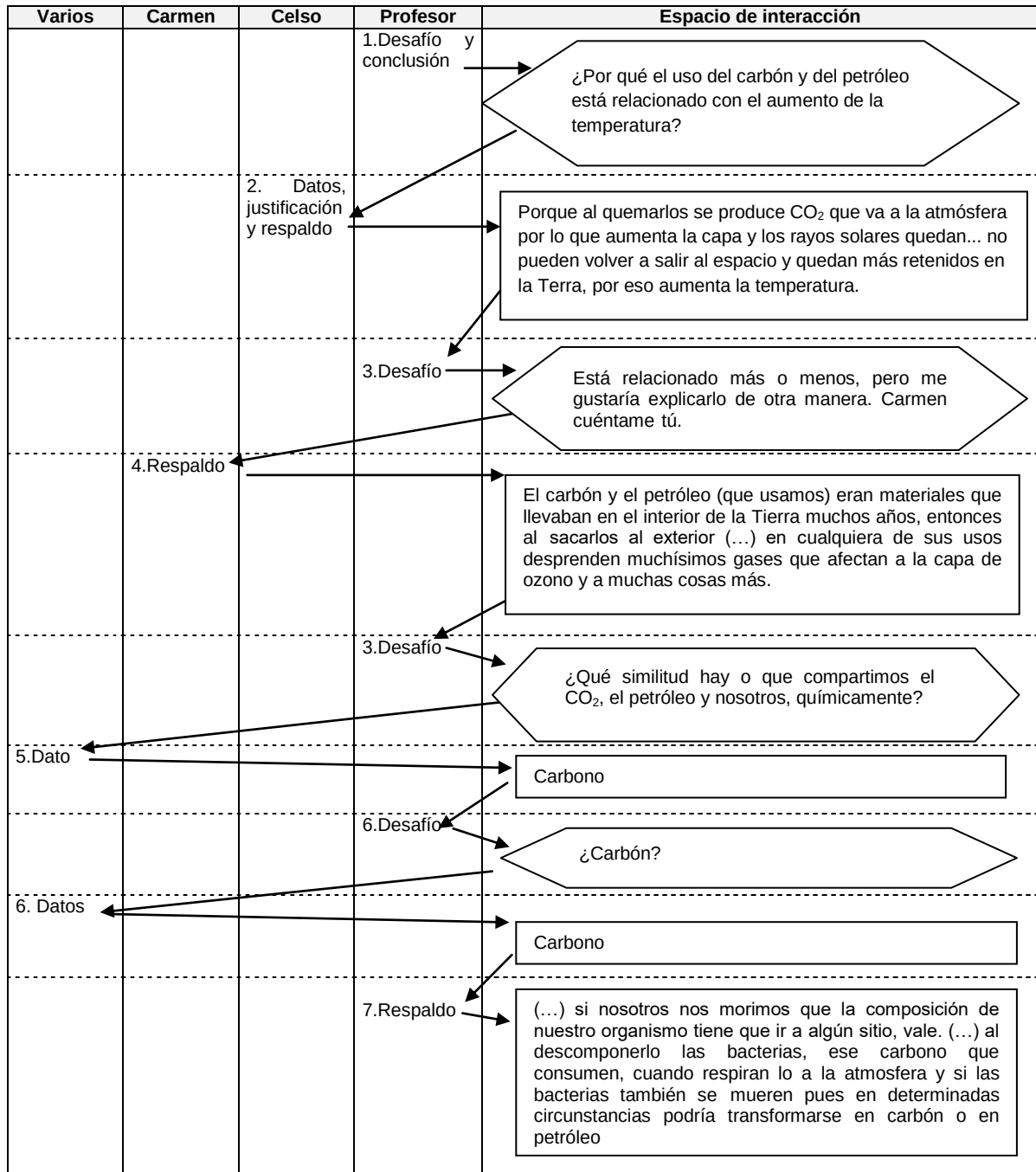


Figura 4.3.14. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.3.15 se representa en forma de esquema de Toulmin el argumento desarrollado por el grupo de clase de la modalidad científico tecnológico mediante el discurso obtenido por el coloquio dirigido por el profesor para responder a la quinta cuestión.

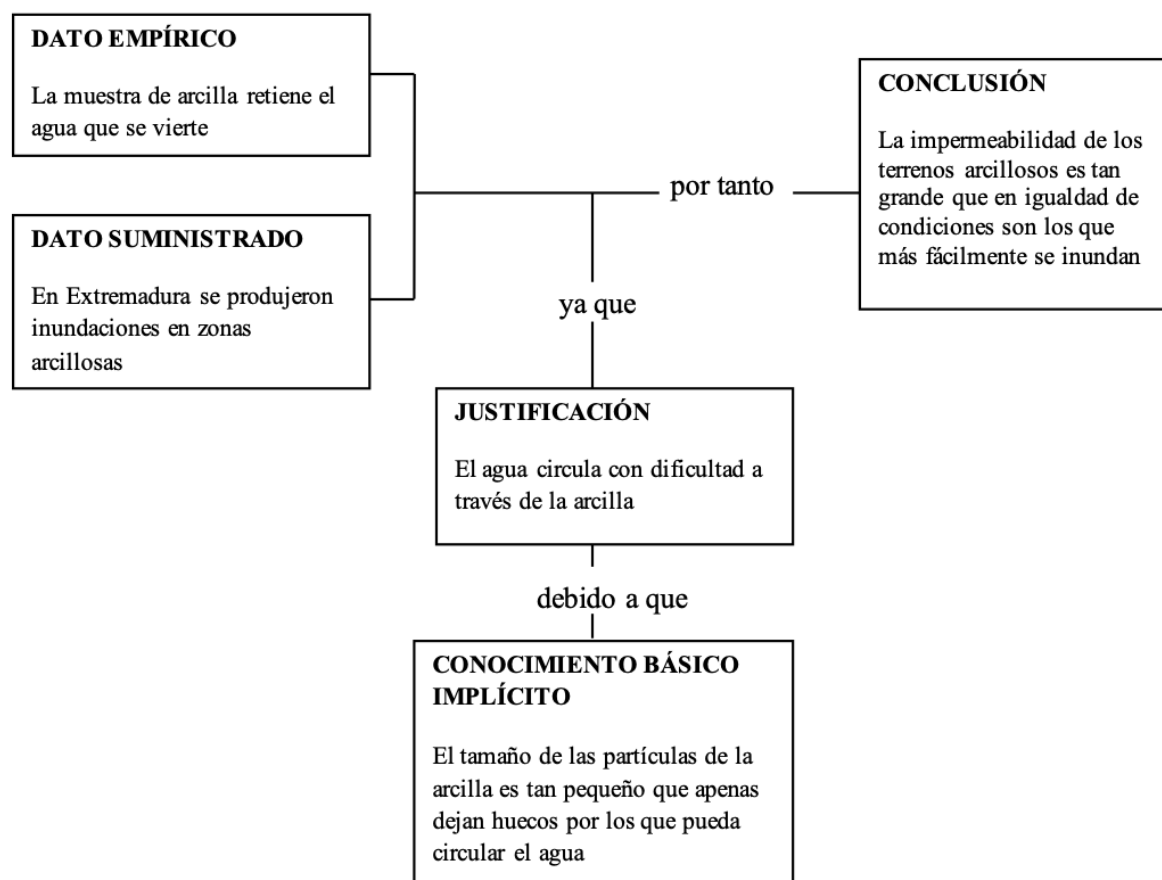


Figura 4.3.15. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

La propia pregunta que formula como desafío el profesor para activar la construcción colectiva del discurso de la argumentación encierra una conclusión implícita, referida a que el uso de carbón y petróleo está relacionado con el aumento de temperatura.

El alumnado dispone de bastantes recursos para hacer frente a la construcción de un discurso colectivo con una argumentación con coherencia interna. Por eso Celso ya aporta en la primera intervención, datos, respaldo, y justificaciones que construyen una argumentación coherente.

Sin embargo, el profesor, al solicitar otra formulación, a pesar de admitir el valor de las aportaciones de Celso, fuerza la continuidad de la argumentación, posiblemente para conseguir una mayor implicación colectiva en la construcción del discurso. En ese avance del discurso, la intervención de Carmen pone de manifiesto la barrera conceptual sobre el cambio climático, relacionando este reto con el agujero de la capa de ozono. Vuelve a aparecer el calentamiento asociado a la retención de la radiación solar por el dióxido de carbono de la atmósfera (Shepardson et al. 2011). De nuevo parece visualizarse que la luz del sol queda atrapada y no puede escapar. Como se ha indicado, parece que la intervención de Carmen también contiene concepciones alternativas de identificación del cambio climático con el problema de la capa de ozono al decir que el dióxido de carbono afecta al ozono, lo que es coherente con la vinculación del problema de la capa ozono en el modelo del cambio climático al que se refieren Varela et al. (2020).

El avance en la construcción del discurso debido a la activación de la argumentación mediante los continuados desafíos docentes no queda demasiado claro en este caso. De hecho, el cierre de la argumentación abordando una rápida explicación del respaldo científico del proceso de fosilización no queda muy claro. Posiblemente el docente entra en el ámbito de la fosilización para conectar con la argumentación relativa a la contestación de la siguiente cuestión, ¿por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes se apoyan en hechos hipotéticos con coherencia científica, si bien aparecen concepciones alternativas sobre la retención de luz solar por el dióxido de carbono y la relación de este gas sobre el efecto invernadero, motivo por el que se le otorga 2 puntos. También se le otorga 2 puntos por la Justificación, pues existe una concordancia aceptable de los hechos con las conclusiones. Por último, se le otorga también 2 puntos porque del enunciado se desprende que el uso del carbón y el petróleo provocan el aumento de temperatura. Por tanto, la valoración global de la calidad de la argumentación se concreta en 6 puntos del total de 9 que corresponden a la valoración máxima.

Con respecto a la categorización del mapa del discurso se ubica en la categoría Receptiva (Hogan et al., 2000) porque en su desarrollo contribuyen principalmente Carmen y Celso, si bien el docente en este tipo de coloquios dirigidos siempre es un participante destacado.

En cuanto a la modelización, la respuesta se comporta como un evento en el que se relaciona claramente la combustión del carbón y el petróleo como principales fuentes causantes del cambio climático, aunque no se visualiza una ubicación del problema con la alteración del ciclo del carbono. El docente se ve obligado en su intervención a llevar el proceso de modelización hacia la inclusión del ciclo del carbono sobre el cambio climático, incorporando analogías y símiles sobre la descomposición de cadáveres. Por tanto, en la revisión del proceso de modelización desarrollado es importante, por sus implicaciones didácticas, situar las emisiones en la alteración del ciclo de carbono por la acción antropogénica.

La valoración de este proceso de modelización aplicando la rúbrica de la figura 3.2 se le asigna la puntuación del patrón 1c (2 puntos) porque requiere la participación del docente y la de c (2 puntos) porque la argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado, pero sin

la consistencia suficiente para adoptado por la ciencia escolar. Por tanto, se le asigna la puntuación global de 4 puntos sobre el máximo de 8 puntos.

4.3.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

4.3.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6

La figura 4.3.16 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar la respuesta a la sexta cuestión formulada para indagar sobre lo que significa que el carbón y el petróleo sean recursos no renovables en la línea de llevar el discurso a dos de las principales fuentes de emisiones.

Profesor	<i>¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>Porque para su formación se tarda millones de años...eh... tiene que estar en una fosa allí con presión para que se vaya formando... por las bacterias.</i>	Datos, Justificación y respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Pero aquí la pregunta es por qué son recursos no renovables, recordadlo.</i>	Desafío	GC-CP
Carmen	<i>Porque se utiliza en grandes cantidades y su formación tarda millones de años, entonces, no da tiempo a que se recupere...el petróleo... a que se genere tanto como se consume porque tarda millones de años y nosotros consumimos en un siglo casi todo el petróleo.</i>	Datos hipotéticos y justificación	GC-CP
Profesor	<i>Pero ¿por qué decimos que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?</i>	Desafío	GC-CP
Cosme	<i>Simplemente porque se consumen más rápido de lo que se producen.</i>	Conclusión	GC-CP

Figura 4.3.16. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.3.17 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso desarrollado por el grupo clase en coloquio dirigido por el profesor para argumentar en busca de la respuesta a la cuestión 6.

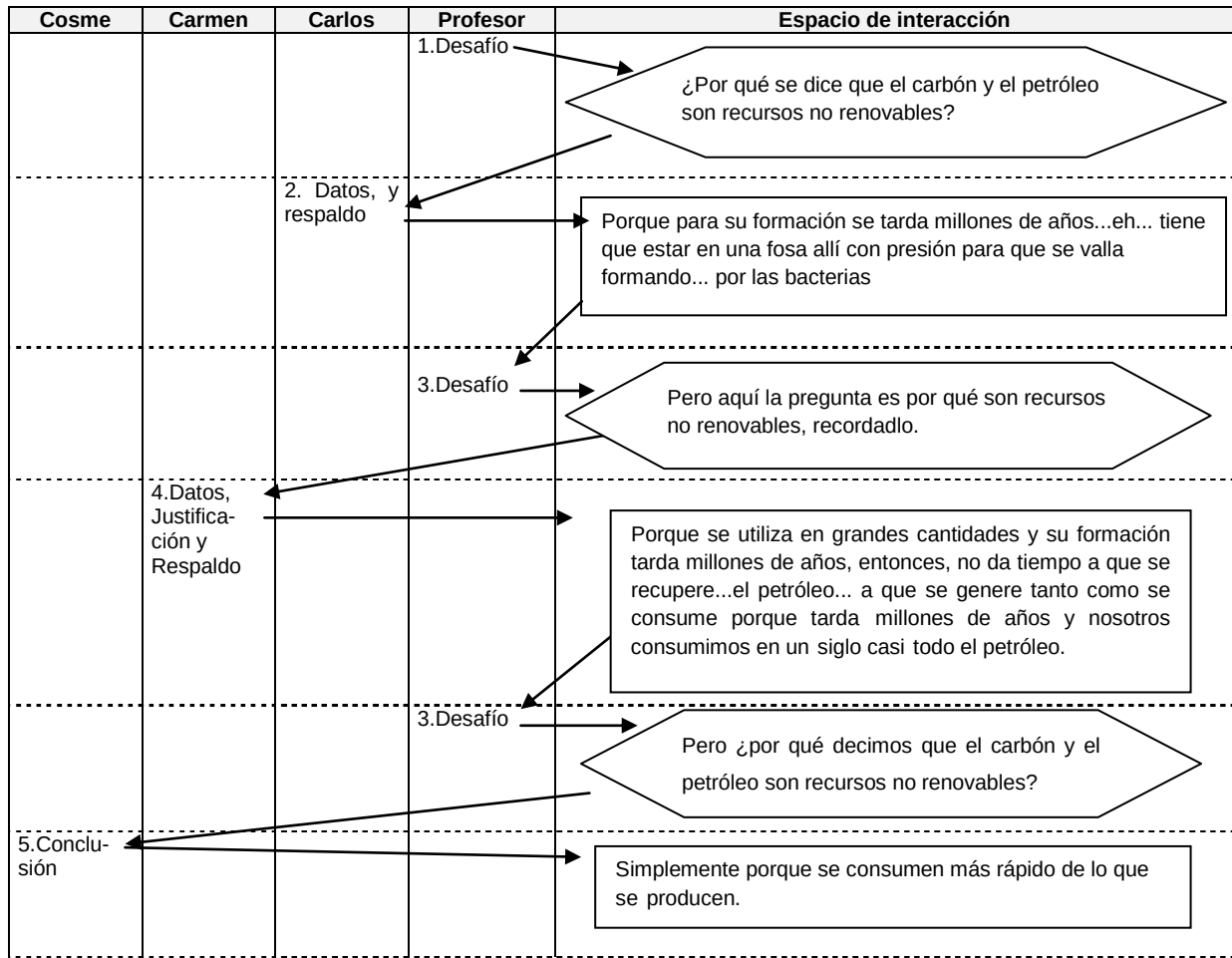


Figura 4.3.17 Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.3.18 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo desarrollado en el coloquio del grupo clase conducido por el docente en la respuesta a la cuestión 6.

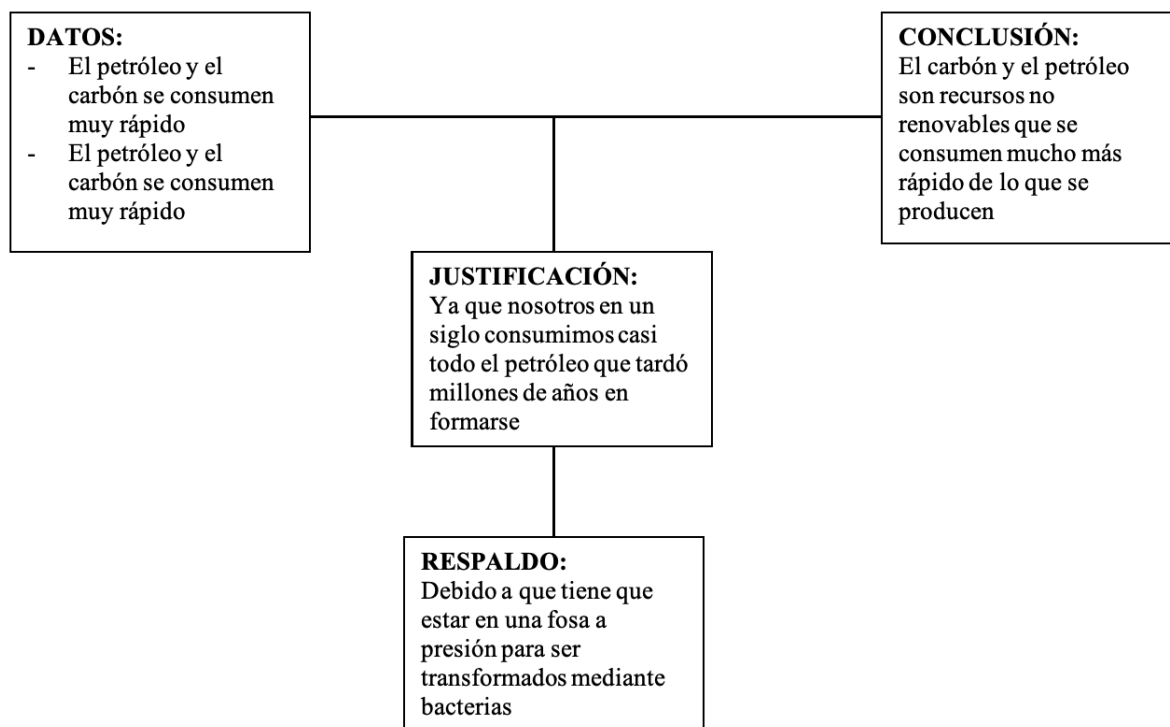


Figura 4.3.18. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

El discurso relativo a la argumentación sobre la no renovabilidad del carbón y del petróleo que impulsa el profesor parte del respaldo relativo a la formación de los combustibles fósiles que aporta Carlos, en el que aporta el conocimiento básico relativo al proceso de formación en el interior de la tierra mediante la actuación de bacterias. En ningún momento se refiere a la naturaleza anaerobia que no lleva a la descomposición completa de los restos, ni tampoco se menciona que se forman a partir de restos orgánicos. Sin embargo, se trata de la aportación más centrada en el conocimiento básico y que, por tanto, actúa como principal respaldo del discurso relativo a la respuesta de esta cuestión.

Posiblemente sea por estas lagunas por lo que el profesor pide que recuerden que su pregunta es por qué son recursos no renovables. Aunque, sin embargo, también se puede referir a que, en su aportación, Carlos no hace referencia al consumo ni a su velocidad. Con su nuevo reto, el profesor consigue que se concluya la renovabilidad porque la velocidad de consumo es mucho más elevada que la de producción.

Aunque la pregunta no está directamente relacionada con el cambio climático, es importante estimular la argumentación de la relación del cambio climático con la emisión de gases efecto invernadero debido al uso del carbón y del petróleo, porque los estudiantes suelen desconocer su relación con el consumo de estos combustibles fósiles y se centran más

en el consumo eléctrico. Son especialmente desconocidas las emisiones difusas debidas al transporte como encontraron Gómez y Moncada (2015) en estudiantes de ingeniería. Estos autores encontraron que estudiantes de avanzada formación tecnológica situaban las causas del cambio climático en la contaminación en general y en su daño en particular a la capa de ozono, pero no tomaban en consideración la contribución de los combustibles fósiles y el consumo energético. Por eso señalan la importancia de abordar este aspecto en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Por eso interesa introducir en los procesos de enseñanza y aprendizaje y en sus investigaciones la relación de los combustibles fósiles con el cambio climático y su naturaleza no renovable, poniendo de manifiesto la importancia de las emisiones difusas (Heras, 2013).

En relación a la evaluación de calidad del discurso, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los Hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 2 puntos porque introduce datos relevantes como la necesidad de tiempos geológicos para su formación junto la participación de presiones y de microorganismos en su formación. A la Justificación también se le otorga 2 puntos porque establecen una concordancia aceptable con los hechos y dan las claves de sus consecuencias sobre el cambio climático y su no renovabilidad al afirmar que un siglo se consume lo que llevó millones de años formarse, y mediante conexiones implícitas, aunque no demasiado rigurosas, se apoya en conocimiento básico asimilable al modelo de formación de estos combustibles fósiles. También la Conclusión es merecedora de los 2 puntos porque la conclusión encierra un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento, al expresar las claves de la no renovabilidad de estos recursos en la expresión de que el consumo es mucho más rápido que su formación. Por eso la puntuación global que se le otorga al argumento es de 6 puntos sobre un total de 9 puntos.

En cuanto a la categorización del mapa de discurso obtenido este se corresponde con la representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría colaborativa (Hogan et al, 2000) en el que con tres intervenciones categóricas de tres estudiantes diferentes se llega en poco tiempo a relacionar los hechos contemplados con una conclusión bastante bien justificada.

En lo que respecta al análisis de la modelización, se identifica un evento de la modelización de la formación del petróleo y del carbón con una adecuada ubicación en los tiempos geológicos y centrados en procesos de presión y microorganismos a los que se les puede encontrar conexiones coherentes con el modelo científico. En su revisión para el uso didáctico interesa introducir elementos de evaluación de la relación del uso de estos combustibles con el cambio climático y buscar analogías y símiles acertados para comprender el proceso de formación de estos recursos en los tiempos geológicos que sí tienen presente.

En la valoración de este proceso de modelización aplicando la rúbrica de la figura 3.2 se le asigna la puntuación del patrón 1c (2 puntos) porque requiere la participación del docente y la de c (2 puntos) porque la argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado, pero sin la consistencia suficiente para adoptado por la ciencia escolar. Por tanto, se le asigna la puntuación global de 4 puntos sobre el máximo de 8 puntos.

4.3.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

Comprende el discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre el efecto del cambio climático sobre los bosques.

4.3.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7

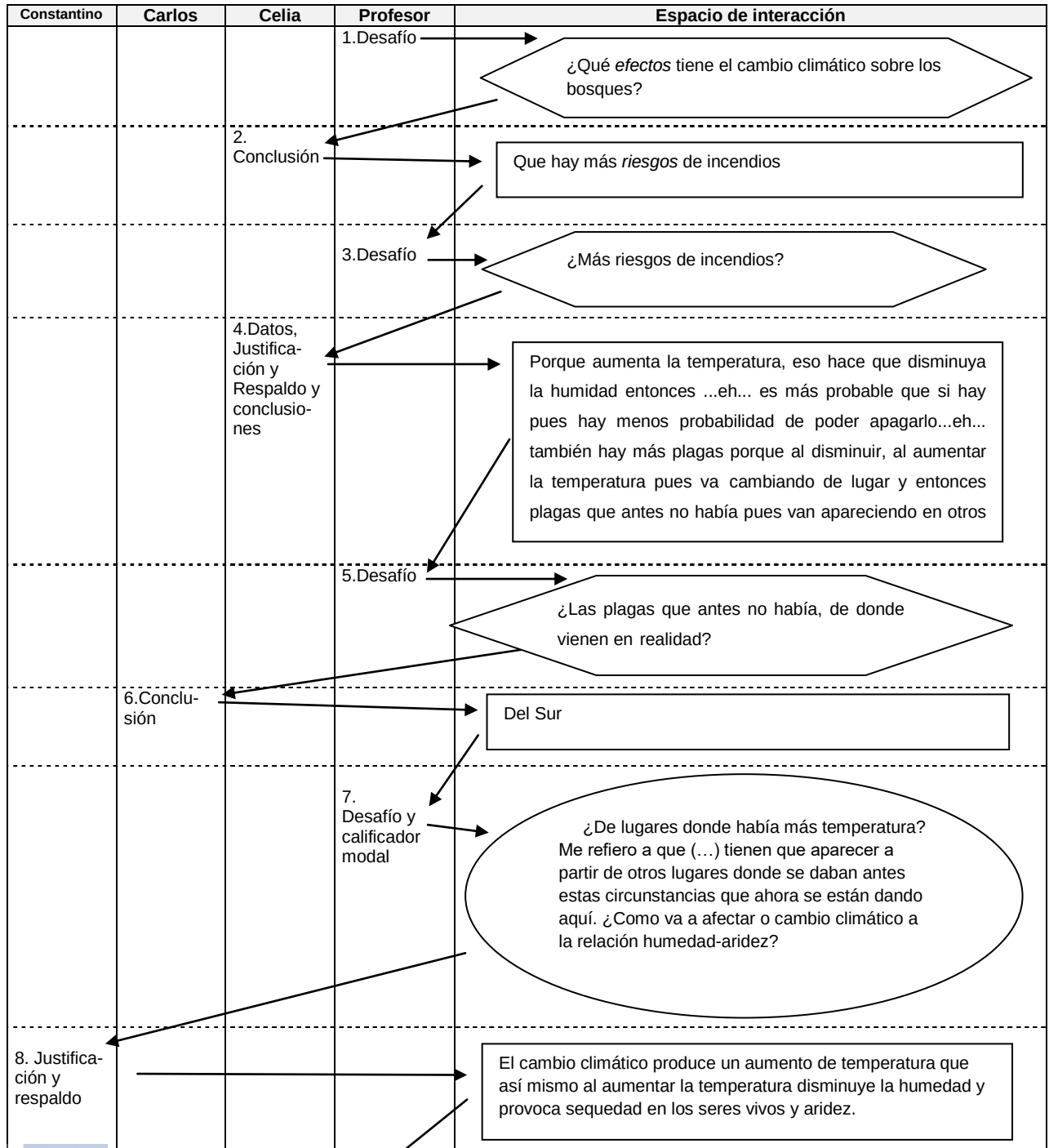
La figura 4.3.19 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la séptima cuestión formulada para indagar sobre los efectos del cambio climático sobre los bosques.

Profesor	<i>¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Que hay más riesgos de incendios.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿Más riesgos de incendios?</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Porque aumenta la temperatura, eso hace que disminuya la humedad entonces ...eh... es más probable que si hay pues hay menos probabilidad de poder apagarlo...eh... también hay más plagas porque al disminuir, al aumentar la temperatura pues va cambiando de lugar y entonces plagas que antes no había pues van apareciendo en otros lugares.</i>	Datos hipotéticos y justificación	GC-CP
Profesor	<i>¿Las plagas que antes no había, de donde vienen en realidad?</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>Del Sur.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿De lugares donde había más temperatura? Me refiero a que (...) tienen que aparecer a partir de otros lugares donde se daban antes estas circunstancias que ahora se están dando aquí. ¿Como va a afectar o cambio climático á relación humedad-aridez?</i>	Desafío y Calificador modal	GC-CP
Constantino	<i>El cambio climático produce un aumento de temperatura que así mismo al aumentar la temperatura disminuye la humedad y provoca sequedad en los seres vivos y aridez.</i>	Justificación y respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Más que en los seres vivos, ambiental.</i>	Dato	GC-CP
Constantino	<i>Ambiental.</i>	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.3.19. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor y dirigido al grupo científico - tecnológico.

4.3.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.3.20 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del coloquio conducido por el docente para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica en la argumentación que da respuesta a la cuestión 7.



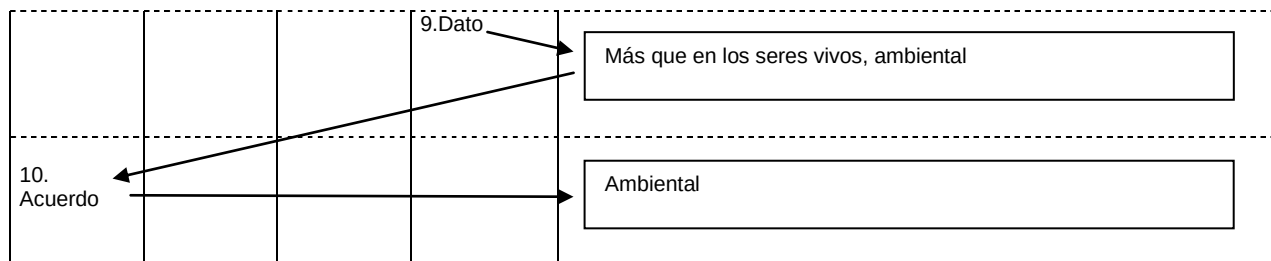


Figura 4.3.20. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión número 7

En la figura 4.3.21 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 7.

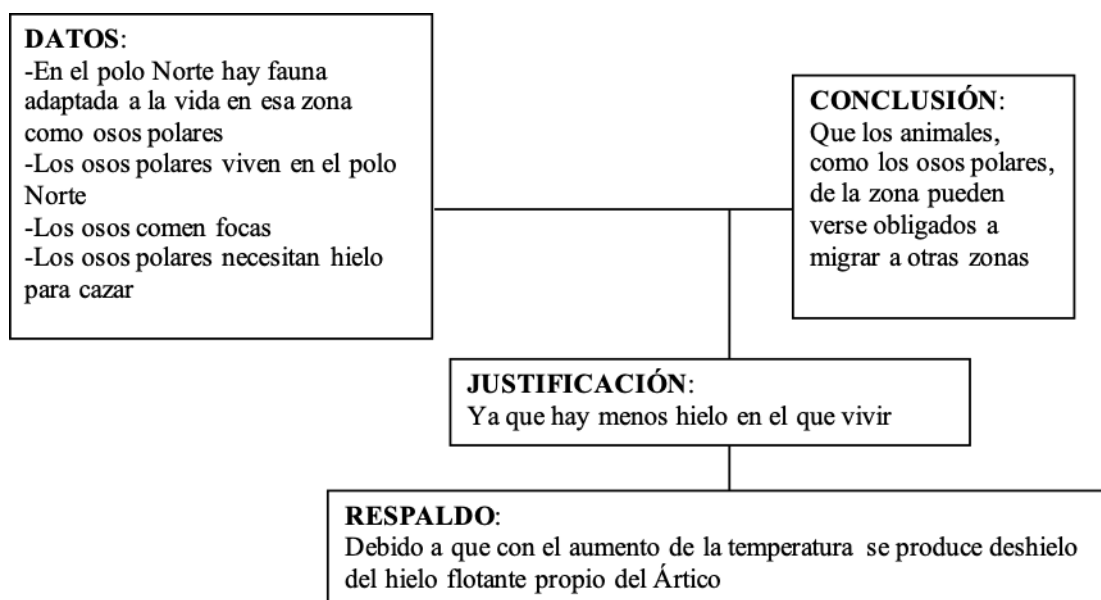


Figura 4.3.21. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

La primera intervención en el discurso correspondiente a la respuesta de esta pregunta ya deja la principal conclusión, que es que el cambio climático está provocando un aumento del riesgo de los incendios que aporta Celia. Cuando el profesor la reta para que argumente, relaciona los incendios con el aumento de temperatura. Posiblemente el docente perdió una oportunidad para comprobar si con esa expresión de pérdida de la humedad Celia tenía presente la representación de los efectos sobre el suelo que están teniendo las olas de calor. Avanzar en la evolución de este modelo mental es interesante en los procesos de enseñanza y aprendizaje sobre el cambio climático debido a que tienden a ser cada vez extremadamente más largas y frecuentes, y que a nivel mundial entre el 50% y el 80% de la superficie terrestre experimenta situaciones extremas de calor afectando a una amplia variedad de árboles (IPCC, 2019). En este contexto es más fácil que se propaguen incendios, sobre todo si en hay más CO₂, lo que conlleva una tasa mayor de fotosíntesis en las épocas lluviosas, provocando el aumento de biomasa que va a secar luego en las sequías extremadamente largas y en aumento en frecuencia durante la estación seca.

En esta argumentación Celia introduce otro efecto del cambio climático sobre los bosques, que es el aumento de las plagas. En las causas de esas plagas, Carlos las atribuye al desplazamiento de especies desde el Sur, queriendo referirse a especies que llegan de sitios cálidos, que el profesor acepta por lo que traslada de adaptación de especies que con el cambio climático encuentran en nuestros bosques su nicho ecológico.

Se queda la argumentación de las plagas en el desplazamiento latitudinal, que es coherente con el aumento de la sequía, que a su vez aumenta el riesgo de los incendios. Pero esto impidió profundizar en la argumentación para concluir que las plagas también se deben a desplazamiento en altitud, lo que explica que la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), que era plaga solo para los pinos costeros, ahora sea una plaga en todos los bosques de Galicia o incluso en altitudes de más dos mil metros como ocurre en la Sierra del Guadarrama. Sin embargo, en ningún momento se entra en las plagas por especies invasoras y la expansión de árboles pirofíticos como ocurre en Galicia con el eucalipto o con las acacias, ambas especies introducidas desde Australia. Se perdió así una oportunidad para introducir las oportunidades que el cambio climático puede ofrecer a especies vegetales invasoras que afectan a la calidad de los recursos hídricos disponibles y a los ecosistemas y agrosistemas (Rodríguez, 2009), y que, a su vez, si son de naturaleza pirofítica, como los eucaliptos, pueden ser facilitadores de aumento de frecuencia e intensidad de incendios a medida que avanza el cambio climático.

En relación a la evaluación de calidad de la argumentación, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los Hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 2 puntos, porque aunque no introduce de forma implícita los efectos sobre el suelo, sobre todo porque no hace referencia a las consecuencias de los incendios sobre el suelo, parte de hechos hipotéticos con coherencia científica al introducir con claridad los riesgos de que aumenten los incendios y también los derivados de las introducción y expansión de especies invasoras como plagas. Pero no se le da una valoración máxima al apartado de hechos porque no pasan del concepto de plaga a la importancia del riesgo pirofítico en contextos del cambio climático de especies que han sido introducidas en el pasado, procedentes de Australia, como eucaliptos y acacias, que suponen cada vez mayores riesgos para el inicio y propagación de los incendios. En esto el docente pudo perder una

oportunidad de llevar la estrategia de argumentación hacia este punto. La Justificación se valora con 2 puntos porque hay una concordancia aceptable de los hechos con las conclusiones al vincular los incendios con las sequías, puesto que el material seco aumenta los riesgos de combustión, aunque desaprovechan la oportunidad de las plagas para introducir los efectos de las especies invasoras. La Conclusión queda valorada también en 2 puntos porque, aunque presenta la limitación de las especies invasoras y la erosión del suelo, del enunciado se desprende con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar la coherencia interna de la conclusión a la que conduce la argumentación.

Por tanto, el argumento queda valorado en 6 puntos sobre un total de 9.

En cuanto al patrón que sigue el flujo del discurso, este se ubica con bastante claridad en la categoría Receptiva (Hogan, 2000) por cuanto que contribuyen con las aportaciones sustantivas principalmente dos estudiantes: Celia y Constantino. Quizás la contribución del docente que suele conducir a una categoría discursiva del flujo del discurso, en este caso tuvo poco peso, porque el único esfuerzo que hizo el docente se centró en buscar justificaciones de los incendios que fueron bien aceptadas, y posiblemente con las plagas estaba buscando el cambio latitudinal, o al menos no mostró desafíos hacia los cambios altitudinales, y menos hacia las especies invasoras vegetales. Por eso parece que el docente se dio por conforme con las aportaciones sustantivas de Celia y Constantino y no dio pie, como en otras ocasiones a que el discurso fluyera según una secuencia de intervención más colaborativa.

En relación al proceso de modelización, se cumple con claridad el paso uno del esquema de la figura 3.10 de la Metodología, que permite analizar y valorar el proceso de modelización por cuanto que el desarrollo de las capacidades de argumentación permite identificar un proceso de modelización de los efectos del cambio climático en los bosques en términos de aumentos de incendios y de plagas. Esto deja oportunidades interesantes para interpretar estos incendios en el marco del modelo de ciencia escolar para el nivel de competencia curricular, aunque valorando el grado de acierto de los estudiantes se echa en falta la alusión a los efectos de los incendios sobre la erosión de los suelos y el cambio en los ecosistemas y agrosistemas por especies vegetales invasoras, especialmente las pirofíticas. Parece recomendable ampliar la estrategia de argumentación del docente para introducir estos elementos con el objetivo de dejar un buen modelo de ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular. Para conseguirlo se requiere de una revisión que permita introducir los efectos erosivos de los incendios y los impactos de las especies vegetales invasoras en el equilibrio del ecosistema y en su biodiversidad, así como en la proliferación de incendios en el contexto de continuidad del cambio climático. Esta revisión del proceso de modelización necesita de procesos conocidos como enriquecimiento y no tanto de un cambio conceptual, algo bastante común en la evolución de los modelos mentales propios del aprendizaje del cambio climático (Chi, 2008).

Por tanto, en la valoración de este proceso de modelización aplicando la rúbrica de la figura 3.2 se le asigna la puntuación del patrón 1c (2 puntos) porque requiere la participación del docente y la de c (2 puntos) porque la argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado, pero sin la consistencia suficiente para adoptado por la ciencia escolar. Por tanto, se le asigna la puntuación global de 4 puntos sobre el máximo de 8 puntos.

4.3.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión

Comprende los resultados obtenidos del discurso del coloquio dirigido por el profesor en la indagación sobre las consecuencias del deshielo en el Polo Norte.

4.3.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 8

La figura 4.3.22 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar la respuesta a la octava cuestión relativa a las consecuencias del deshielo en el Polo Norte. Comprende el discurso del coloquio dirigido por el profesor en la clase de la modalidad científico-tecnológica para indagar sobre las consecuencias del deshielo durante el verano en el polo Norte

Profesor	<i>¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?</i>	Desafío	GC-CP
Profesor observador	<i>Pensar sobre los modos de vida de la gente, aunque es una zona muy poco poblada, pensar en la diferencia en los modos de vida de esa gente, también en la fauna de esa zona e incluso en las rutas comerciales.</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>Claudio, ¿qué tal?, podrías decir algo?</i>	Desafío	GC-CP
Claudio	<i>Lo único que podría decir es que el Polo Norte está casi todo el año con Sol (...) y por eso también hay deshielo.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>(...) cuando hablamos del Polo Norte decimos deshielo flotante durante el verano (...). Hay un post que tenía una foto muy atractiva, que era un oso polar (...) enganchado. ¿Por ejemplo, como puedes relacionar esa foto de aquel oso polar que está allí con las cuatro patas prácticamente en un “cubito” de hielo con ese deshielo del verano? Celestino.</i>	Datos y Desafío	GC-CP
Celestino	<i>Que los animales de las zonas pueden verse obligados a migrar a otras zonas porque allí se acaban los recursos y porque al haber menos superficie donde vivir todos...las aves sus alimentos marchan por el mar a buscar otros destinos donde poder vivir mejor.</i>	Justificación y respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Y en el caso del oso, ¿tenía algún problema?</i>	Desafío	GC-CP
Profesor observador	<i>¿Visteis alguna vez en los documentales de la 2 cazar a un oso polar? ¿Qué come un oso polar?</i>	Desafío	GC-CP
Varios	<i>Focas</i>	Datos	GC-CP
Profesor observador	<i>Focas. ¿Como las come?, ¿Desde dónde las come?</i>	Desafío	GC-CP
Clemente	<i>Desde el hielo, rompiendo el hielo.</i>	Datos	GC-CP
Profesor observador	<i>Fundamental para ellos</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>(...), Carolina, ¿cómo crees que se vería afectada?</i>	Desafío	GC-CP
Carolina	<i>Porque con (...) el aumento de las temperaturas y a</i>	Justificación y respaldo	GC-CP

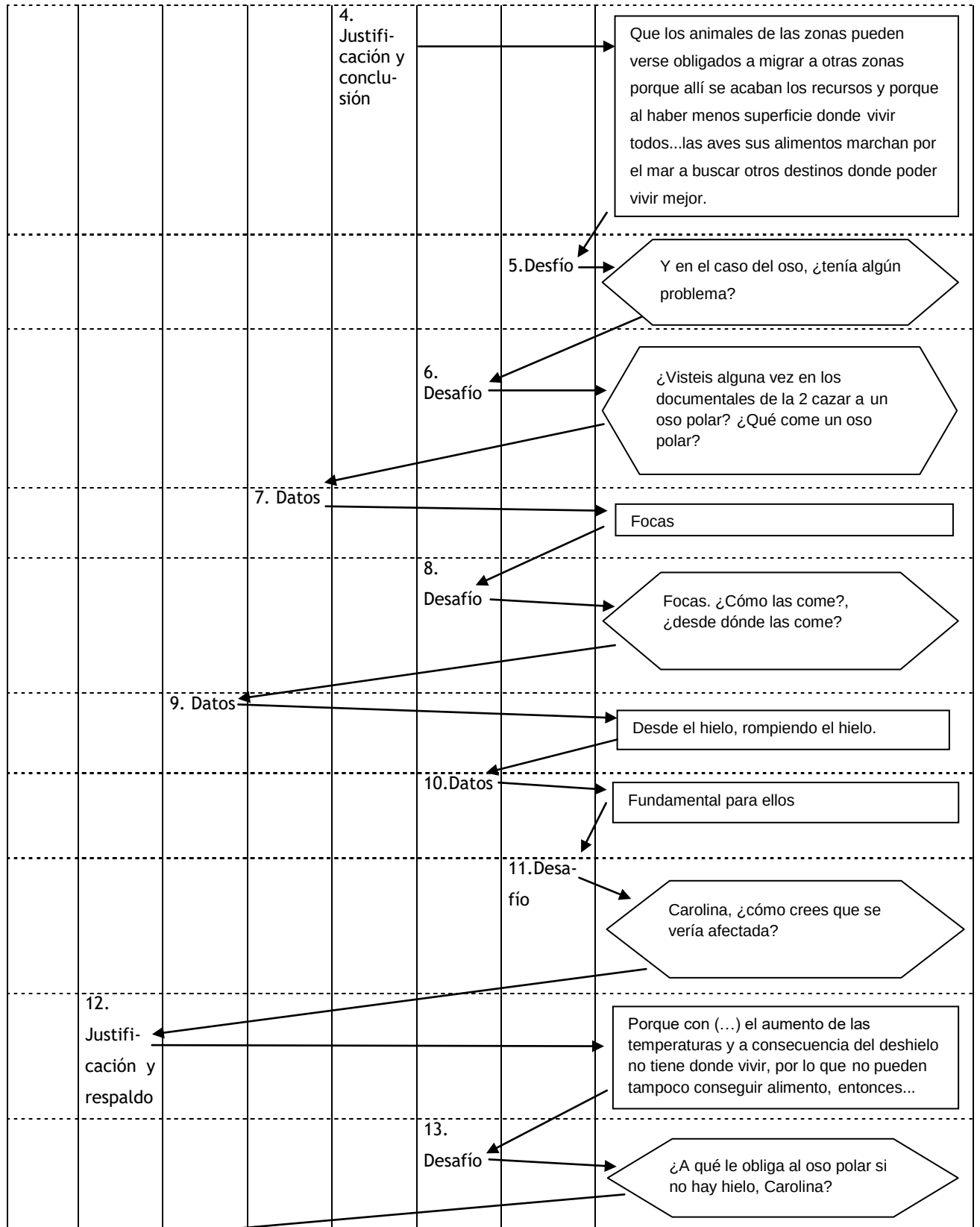
	consecuencia del deshielo no tiene donde vivir, por lo que no puede tampoco conseguir alimento, entonces...		
Profesor observador	<i>¿A qué le obliga al oso polar si no hay hielo, Carolina?</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>A marchar a otras zonas. A zonas de Rusia o Groenlandia</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor observador	<i>Zonas continentales, incluso zonas pobladas, es decir, le obliga a ir a un medio que ya no es propio de ellos. De hecho, por ejemplo, aunque son zonas muy poco pobladas, la llegada del oso polar a poblaciones boreales, próximas al círculo polar Ártico, porque van sobre todo en busca de basura e a veces llegan a causar problemas porque se aproximan a zonas pobladas y el oso polar es un animal bastante agresivo.</i>	Respaldo	GC-CP

Figura 4.3.22. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 8

En la figura 4.3.23 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del coloquio dirigido por el profesor y en el que participaron los 27 estudiantes del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica para dar respuesta colectiva a la cuestión 8.

Carlos	Carolina	Clemente	Varios	Celestino	Profesor observador	Profesor	Espacio de interacción
						1. Desafío	¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?
					2. Desafío		Pensar en cómo son las poblaciones de esas zonas poco pobladas en el Polo N y cómo es la fauna
						3. Desafío	¿Cómo puedes relacionar esa foto de aquel oso polar que está allí con las cuatro patas prácticamente en un “cubito” de hielo con ese deshielo del verano? <i>Celestino.</i>



4.3.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 8

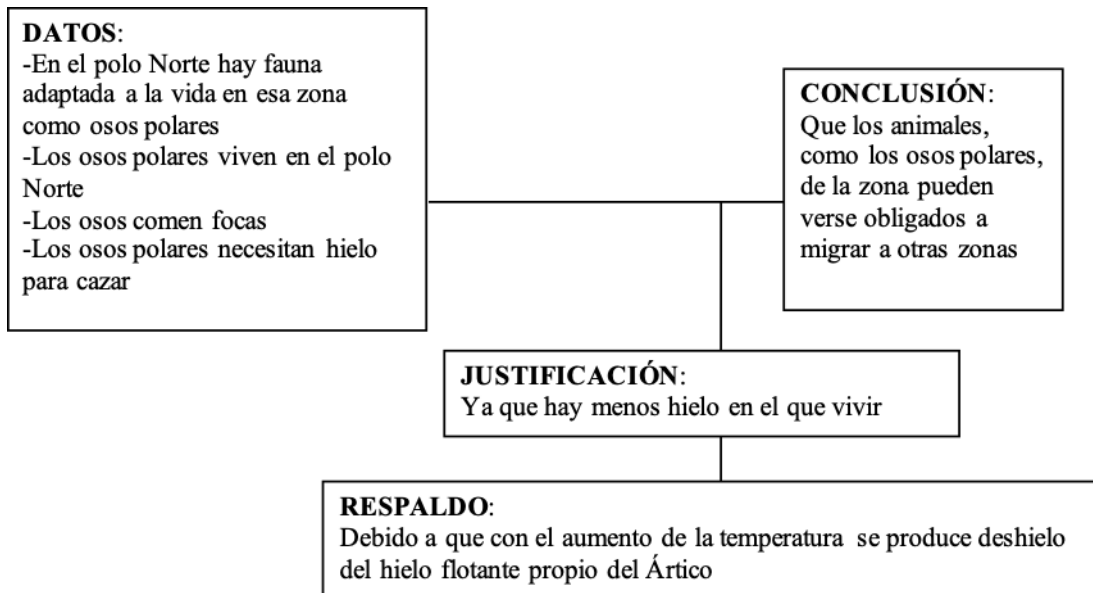


Figura 4.3.24. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión

Aunque como se visualiza en la representación de la argumentación mediante el esquema de Toulmin, el resultado obtenido es una argumentación simple, el análisis del discurso desarrollado para buscar respuestas a cuáles son los impactos del deshielo en el polo Norte ha resultado complejo, tanto que el profesor observador tiene que dejar ese rol para pasar a tener un papel activo en las aportaciones al discurso.

El motivo de la dificultad parece estar en la distancia de las características singulares de los polos, que Claudio expresa muy bien cuando dice “*Lo único que podría decir es que el polo Norte está casi todo el año con sol, y por eso hay también deshielo*”, que parecer comunicar una gran distancia del fenómeno a tratar con las vivencias del estudiante. Posiblemente Claudio se esté refiriendo a que durante el verano se da en el polo Norte el fenómeno de las “noches blancas”, aunque también se puede tratar de un error conceptual derivado del bajo conocimiento de lo que pasa en un punto tan distante para la mayoría de los habitantes. En todo caso parece está asociando el deshielo con este hecho, sin menciones expresas al efecto del calentamiento global.

La dificultad de esta argumentación posiblemente sea también el motivo de la explicación de las intervenciones de un profesor del centro educativo que asistía a la clase como observador. Su intervención parece estar desencadenada por la desconexión y falta de implicación del grupo en el desarrollo del discurso, lo que posiblemente se deba a que los ciudadanos no visualizan las evidencias e impactos del cambio climático a los que se elude en esta pregunta, porque no vivimos ni pasamos nunca por allí.

También se pone de manifiesto en la implicación del segundo profesor en el discurso, abandonando momentáneamente su rol de observador para aportar la representación del cambio climático en el oso polar situado en un bloque pequeño de hielo una de las representaciones sociales de sus efectos (Meira, 2013). Además, esa representación social pasa así a tener relevancia como recurso didáctico para los docentes. Esto lleva a la paradoja de que situamos una de las principales representaciones sociales del cambio climático en una especie de biología solo conocida por documentales, tal y como se desprende de las explicaciones del profesor observador.

Otro elemento extraído de este análisis es que en el discurso relativo a la argumentación sobre la pregunta del deshielo del polo Norte, los estudiantes sitúan los impactos sobre las especies únicamente en el fenómeno migratorio; no aparecen de forma explícita reflexiones relativas a riesgos como la posibilidad de desaparición de especies, que, en este caso del oso polar, podría ser deducible.

Se trata por tanto de una argumentación debilitada por el sesgo geográfico (Heras, 2013) por cuanto que la información sobre las consecuencias del cambio climático se ha situado en un escenario muy lejano. A estas dificultades hay que añadir que los libros de texto no abordan en profundidad los fenómenos de deshielo, tal y como se ha explicado previamente (Choi et al., 2010)

En lo que respecta a la valoración de lo argumentado en la respuesta se le otorga solo 1 punto por los Hechos porque parten más de representaciones sociales aportadas por los docentes que de hechos que permitan visualizar con claridad explícita, ni implícitamente, el conocimiento científico, más allá de una alusión a emigración de especies. Son los docentes los que los llevan a visualizar consecuencias a través de imágenes sobre osos polares de los que los estudiantes parecen desconocer o no tener claro su forma de vida. A la Justificación se le otorga 2 puntos porque consiguen una concordancia aceptable de los datos suministrados por los docentes y las conclusiones. A la conclusión se le otorga 1 punto porque solo alcanzan a vincular el deshielo con el aumento de temperatura, por lo que no se visualiza una conclusión con valor para ser modelo de ciencia escolar que dé una respuesta satisfactoria a la pregunta.

Por tanto, la valoración global que se le otorga a la argumentación es de 4 puntos sobre 9.

En relación al patrón que sigue el flujo del discurso, este es colaborativo, pero impulsado por el esfuerzo conjunto de los dos docentes que forzaron a que varios oradores contribuyeran con varias aportaciones.

Con lo que respecta al proceso de modelización, siguiendo las pautas esquematizadas en la figura 3.10 del apartado de Metodología, no acaba de verse con claridad que a través del desarrollo de las estrategias de argumentación se visualice un proceso claro de modelización que dé respuesta a la pregunta.

4.3.18 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión

Comprende el discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre si relacionan el deshielo de hielo continental de Groenlandia con la subida del nivel del mar en las costas de Galicia y, por tanto, en la población costera en la que viven los estudiantes.

4.3.18.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9

La figura 4.3.25 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la novena cuestión formulada para indagar sobre las consecuencias del aumento de temperatura en Groenlandia sobre las costas de Galicia.

Profesor	<i>En Groenlandia, que aumente la temperatura, ¿cómo puede afectar o que puede ocurrir en Galicia?</i>	Desafío	GC-CP
Corina	<i>Groenlandia (...) es una zona helada y si suben las temperaturas se producirá un deshielo y eso afectará también al nivel del mar y...</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>¿Afectará al nivel del mar? A ver, Celia.</i>	Desafío	GC-CP
Celia	<i>Que... supongo que... al descongelarse Groenlandia pues el agua estará fría, por lo que cambiará las corrientes marinas.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor observador	<i>Celia vio ayer Documentos TV.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Celia	<i>No, no lo vi.</i>	Oposición	GC-CP
Profesor observador	<i>No está bien ese dato Celia.</i>	Desafío	GC-CP
Profesor	<i>La cuestión de... las corrientes marinas dependen básicamente de dos cosas. Sabéis que el agua como el aire, vale, se desplaza cuando cambia de temperatura, más frío más profundo, pero también...</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>La salinidad.</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>... que las disoluciones también varían dependiendo de la salinidad, significa que descienden o ascienden. Más salinidad significa aguas a más profundidad.</i> <i>¿Cómo afectaría ese aumento de temperaturas a las costas gallegas? Dime Carmen.</i>	Desafío	GC-CP
Carmen	<i>“Bueno”, en principio si cambia por ejemplo las corrientes marinas, pues cambia todo el clima...eh... por ejemplo, el cambio climático afectaría a las costas de Galicia, supongo que... puede ser que... habría más desertización, es decir, no llegaría aquí, pero como ya se está notando sobre</i>	Datos hipotéticos	GC-CP

	<i>España.</i>		
Profesor	<i>(...) me refiero, sobre la vida en el mar, ¿vale?, o sobre la vida o directamente sobre el mar, evidentemente lo que ocurre en el mar se traslada a la costa.</i>	Desafío	GC-CP
Camilo	<i>Las especies de pesca...eh... que se pescan en Galicia tendrían que emigrar hacia zonas más frías y migrarían hacia Inglaterra y hacia Alemania para buscar aguas más templadas y en Galicia (...) quedaríamos sin recursos.</i>	Justificación y conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Bien, por lo menos cambiarán, es decir, que tiene un efecto económico directo (...) de una manera directa porque está claro que aquí hay gente que vive del mar directamente. ¿Habría algún otro cambio? Ese aumento de temperatura sobre el mar, la parte de la cuestión de tipo pesquero, ¿Se notaría de alguna otra manera?</i>	Justificación y respaldo	GC-CP
Camilo	<i>La gente que vive cerca de la zona de costa pues tendría que poco a poco... que ir hacia el continente más... que quedara elevado.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>Efectos sobre las poblaciones también</i>	Conclusión	GC-CP
Carlos	<i>Con el agua más caliente es menos salada habría mayor proporción de mareas rojas, con lo que afectaría mucho al mejillón, por ejemplo, que es una de las principales industrias de Galicia.</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Evidentemente. Las mareas rojas no tienen una causa directa única, tienen muchas, pero una de las que se asocia habitualmente es la temperatura oceánica, por eso también ocurren en determinada época del año, aunque que cada vez aparecen más por otros efectos, pero habitualmente la marea roja suele aparecer, fijaros, siempre al final del verano. Sigue siendo la época cuando más aparece, justamente la época cuando la temperatura oceánica es más alta.</i>	Conclusión	GC-CP

Figura 4.3.25. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.18.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.3.26 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 9.

Camilo	Carmen	Carlos	Celia	Corina	Profesor	Espacio de interacción
					1.Desafío	En Groenlandia, que aumente la temperatura, ¿cómo puede afectar o que puede ocurrir en Galicia o que puede ocurrir en Galicia?
				2.Datos hipotéticos		Groenlandia (...) es una zona helada y si suben las temperaturas se producirá un deshielo y eso afectará también al nivel del mar y...
					3. Desafío	¿Afectaría al nivel del mar?
			4. Datos hipotéticos			Supongo que... al descongelarse Groenlandia pues el agua estará fría, por lo que cambiará las corrientes marinas.
					5. Datos	La cuestión de... las corrientes marinas dependen básicamente de dos cosas. Sabéis que el agua como el aire, se desplaza cuando cambia de temperatura, más frío más profundo, pero también ...
		6. Datos				La salinidad
					7. Respaldo y Desafío	... que las disoluciones también varían dependiendo de la salinidad, significa que descienden o ascienden. Más salinidad significa aguas a más profundidad. ¿Cómo afectaría ese aumento de temperaturas a las costas gallegas? Dime Carmen.
	8. Datos hipotéticos					“Bueno”, en principio si cambia por ejemplo las corrientes marinas, pues cambia todo el clima ...eh... por ejemplo, el cambio climático afectaría a las costas de Galicia, supongo que... puede ser que... habría más desertización, es decir, no llegaría aquí, pero como ya se está notando sobre

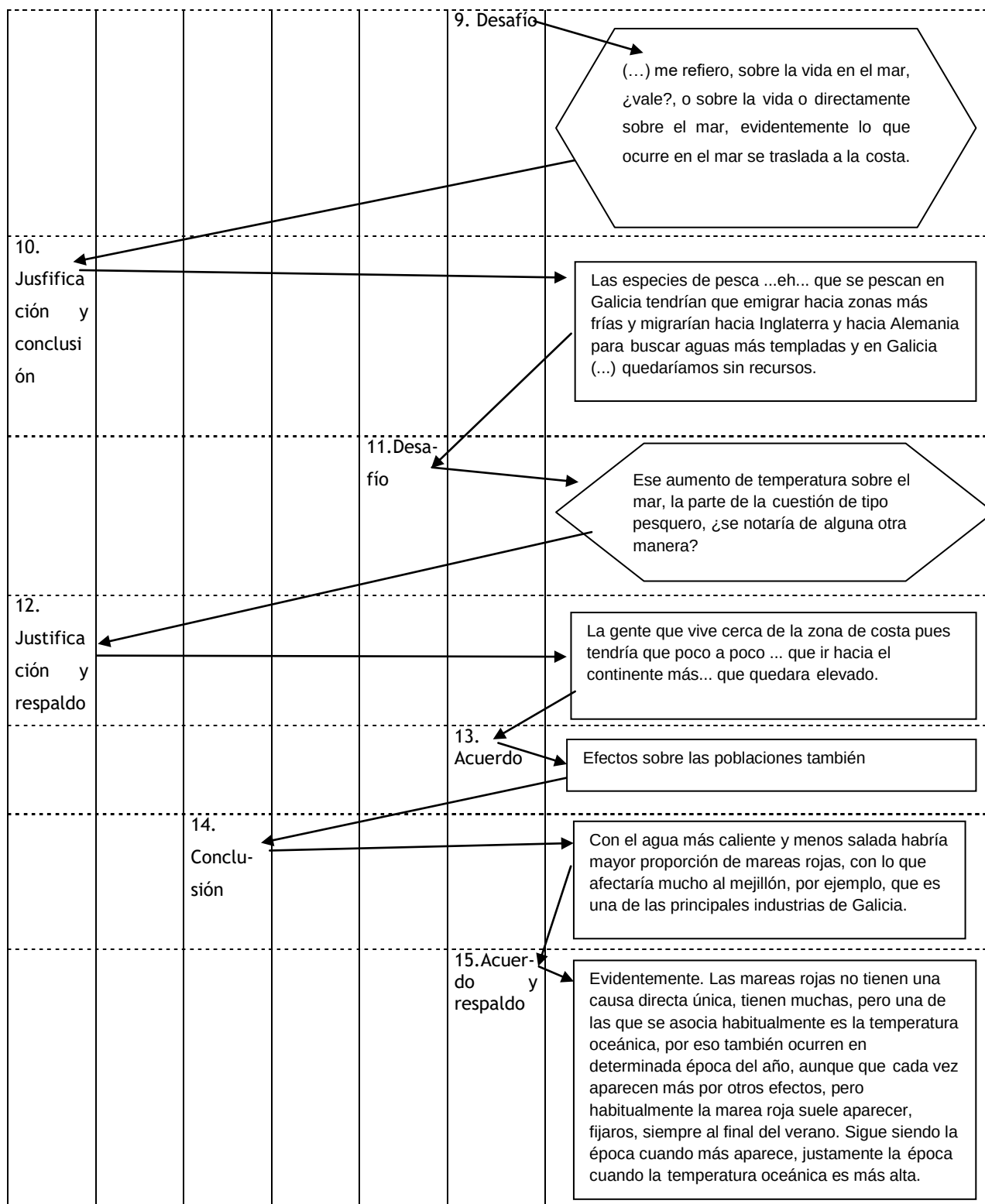


Figura 4.3.26. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.18.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.3.27 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo clase científico tecnológico del coloquio dirigido por el profesor para argumentar la respuesta a la cuestión 9.

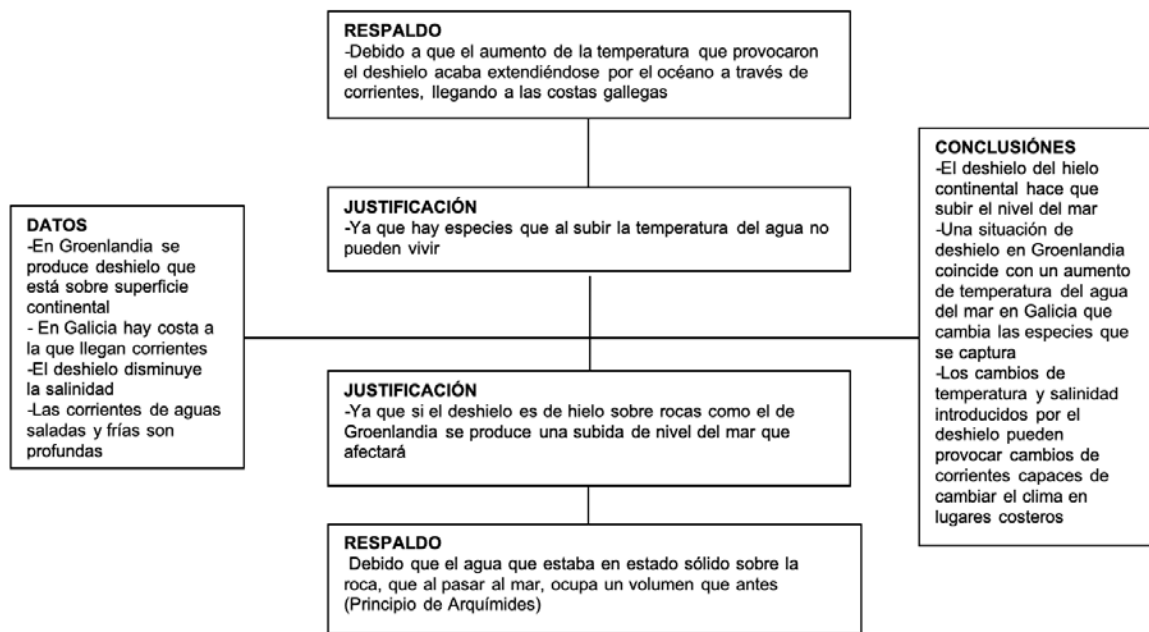


Figura 4.3.27. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo científico - tecnológico en la que la argumentación estuvo dirigida por el docente.

4.3.19 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión

Al igual que en el análisis de los datos del evento de interés anterior, en este de nuevo se visualiza la dificultad de analizar sobre impactos del cambio climático en un lugar tan distante como inexplorable para la mayoría de la población, sobre todo en edad adolescente. Por tanto, volvemos a encontrarnos con las dificultades de aprendizaje derivadas del sesgo geográfico (Heras, 2013).

El problema no solo tiene la dificultad de partir impactos distantes, sino que tiene la dificultad añadida de traer a lo local, en este caso Galicia, efectos de impactos en otras regiones distantes, en la línea didáctica transversal que exige el estudio del cambio climático de atravesar bidireccionalmente las barreras entre lo local y lo global.

En este caso se opta por el polo Norte, si bien en la subida del nivel del mar términos globales en la tiene más efectos el deshielo del polo Sur, por aproximar más geográficamente

el impacto de partida. Se recurre a Groenlandia para situar el deshilo sobre roca y evitar así la falta de efectos significativos del deshilo del hielo flotando sobre el nivel del mar.

Sin embargo, aunque en el planteamiento inicial Corina sitúa este efecto de subida del nivel del mar, que, aunque tuviese su origen en Groenlandia, podría tener su repercusión en Galicia, la continuación del discurso con la intervención de Celia de la relación de la temperatura fría del agua con el cambio de corrientes marinas abandona la línea de argumentación de la relación deshilo de Groenlandia y subida del nivel del mar en Galicia que interesa para la argumentación y modelización.

Una vez que se introducen las corrientes con la lógica de movimientos de aguas desde Groenlandia a Galicia, el profesor introduce el reto de la búsqueda de otro factor que influye en las corrientes, además del apuntado relativo a la temperatura. Este lo aporta Carlos, cuando da el dato de la salinidad, pero no surge ninguna relación sobre que el agua del deshilo continental que ingresa en el mar tiene poca densidad a pesar de su baja temperatura, pues se trata de agua dulce. No es lo que buscaba el docente, porque se perseguían las consecuencias de la subida del nivel del mar como consecuencia del deshilo del hielo continental de Groenlandia. Aunque los libros de texto no suelen explicar que solo afecta al nivel del mar el deshilo continental y no afecta el deshilo del hielo flotante como el que hay en el Polo Norte, parece que este estudiante asume que el deshilo en Groenlandia, al estar el Polo Norte, no afecta a la subida del nivel de mar, en cuyo caso podría incluso hacer sinónimos los significados de Groenlandia y Polo Norte. Esto puede deberse a que el profesor puso mucho el acento en la explicación de la exposición en que el deshilo del hielo flotante del Polo Norte no afectaba al nivel del mar, mientras el deshilo del Polo Sur sí hacía subir el nivel del mar por estar sobre un continente.

Carmen, siguiendo la línea de razonamiento de las corrientes, concluye que esas corrientes que cambian pueden afectar a Galicia cambiando su clima, con lo que encuentra una relación lógica que permitiría relacionar el impacto del deshilo en Groenlandia y el cambio climático de Galicia, pero los ejemplos en los que se apoya son únicamente de procesos de desertización continental, por lo que no logra armar una argumentación coherente para dar soporte a este argumento.

Otra consecuencia del deshilo en Groenlandia en Galicia que se les ocurrió fue el cambio de ubicación de especies oceánicas móviles, que podrían verse obligadas a migrar hacia latitudes más bajas, algo que no es coherente porque las aguas de Galicia no serían más frías ni el deshilo allí calienta el agua. Por tanto, no existe ningún soporte lógico para sostener consecuencias sobre la pesca por un supuesto movimiento migratorio por el calentamiento que se genera en el Polo Norte. Nada se ha dicho sobre la aparición de posibles nuevas pesquerías de especies de latitudes superiores. Pero en la exposición sí se hacía referencia a las consecuencias en la pesca en Galicia por desplazamiento de especies de estas aguas buscando aguas más frías de latitudes superiores y la llegada a Galicia de especies de aguas más cálidas de las latitudes inferiores.

El profesor da por cerrada la argumentación cuando Carlos relaciona el aumento de las mareas rojas con un aumento de temperatura. Esta relación queda aceptada por el profesor, sin entrar en aspectos claves en la formación de este fenómeno propio de nuestras rías, como es el caso de los afloramientos.

Posiblemente se podrían aprovechar las relaciones de las mareas rojas con las épocas de afloramiento, para llevar la argumentación hacia los efectos del calentamiento de los polos sobre el régimen general de los vientos y sus efectos sobre los afloramientos. Podría aprovecharse así para llevar la argumentación hacia el dato de que el cambio del régimen general de vientos está provocando que los días en los que sopla del NE en Galicia vayan disminuyendo, lo que a su vez provoca una disminución del afloramiento en nuestras rías, con la pérdida de productividad que ya se está constatada a nivel científico en la disminución de la productividad del mejillón (Pérez-Muñuzuri et al., 2009).

En relación a la valoración del argumento siguiendo la rúbrica de la Tabla 3.1 de la Metodología se le otorga 1 punto por el apartado de Hechos porque, aunque Celia parece abrir la opción del hecho de que suba el nivel del mar, se introducen otros datos que no permiten visualizar con claridad conexiones con el conocimiento científico. Tampoco se le otorga más de un punto por la Justificación porque no acaba existiendo un apoyo ni implícito a la relación de los hechos con el conocimiento básico apropiado. A la Conclusión se le otorga también un punto, porque acaban quedando varios elementos inconexos a los que no se les encuentran una conexión en base a un modelo claro. Por tanto, la valoración global del argumento es de 3 puntos sobre el total de 9.

Con respecto al patrón que sigue el diagrama del discurso, de nuevo el docente consigue llevarlo a secuencia que se puede categorizar como colaborativa en la que varios estudiantes hacen aportaciones.

En cuanto a la modelización, siguiendo en la valoración el esquema de la figura 3.10 de la Metodología el discurso no llega a implicar un proceso de modelización que posibilite interpretar con claridad efectos del deshielo en Groenlandia sobre las costas de Galicia.

4.3.20 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la décima cuestión

Comprende el discurso del coloquio dirigido por el profesor en la clase de la modalidad científico-tecnológica para indagar sobre la argumentación y modelización que se sigue para explicar las consecuencias de la subida del nivel del mar en los entornos costeros como es en el que viven los estudiantes. Se trata de una cuestión que no estaba inicialmente planificada y que la improvisó el docente por las resistencias en el desarrollo de la argumentación que se necesitaba para responder a la cuestión 9.

4.3.20.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 10

La figura 4.3.28 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la décima cuestión formulada para indagar sobre las consecuencias de la subida del nivel del mar en poblaciones costeras.

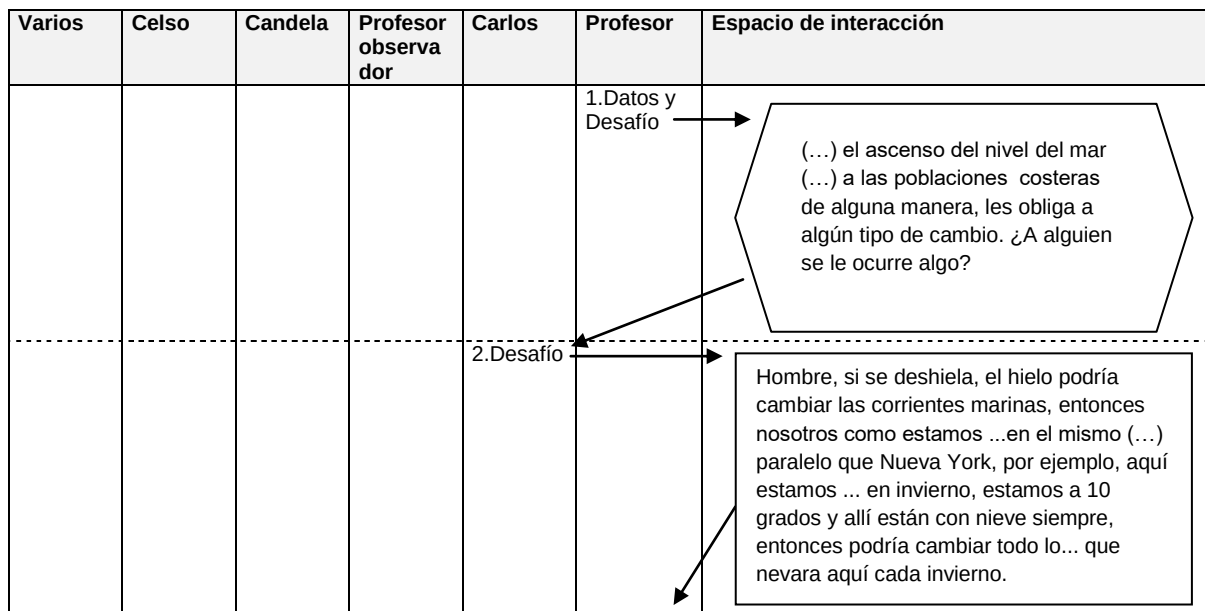
Profesor	<i>(...) el ascenso del nivel del mar (...) a las poblaciones costeras de alguna manera, les obliga a algún tipo de cambio. ¿A alguien se le ocurre algo?</i>	Desafío	GC-CP
Carlos	<i>Hombre, si se deshiela, el hielo podría cambiar las corrientes marinas, entonces nosotros como estamos ...en el mismo (...) paralelo que Nueva York, por ejemplo, aquí estamos ... en invierno, estamos a 10 grados y allí están con nieve siempre, entonces podría cambiar todo lo... que nevara aquí cada invierno.</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>No, eso es sobre el clima. (...) Uno de los problemas que tenemos en las zonas costeras es que cuando hay esas grandes lluvias y las mareas son más altas, pues lógicamente inunda más superficie. (...) se invadió la costa construcciones, y ahora la costa está cobrando lo que tú en realidad le quitaste ella (...) los niveles de mar más altos van a significar más problemas de cara al futuro en el caso de inundaciones. (...) Entonces le robamos al mar y lo pagamos de vez en cuando, cada vez que llueven cuatro gotas. Nivel del mar más alto nos va a traer más problemas de este estilo.</i>	Desafío y calificadores modales	GC-CP
Profesor observador	<i>¿Creéis que se está haciendo una ocupación de la costa ahora que será compatible con un nivel del mar, incluso solamente 50 cm por encima del nivel del mar actual? (...) ponerlos en una marea equinoccial, de las que son las más altas del año, con 50 cm más. Igual la calzada solo con un poco de viento está inundada.</i>	Datos hipotéticos y calificadores modales	GC-CP
Profesor	<i>Opinar sobre eso Candela, ¿quieres comentar algo?</i>	Desafío	GC-CP
Candela	<i>Yo creo que el aumento del nivel del mar puede afectar mucho a la población (...) las viviendas (...) se verían afectadas con la subida del nivel del mar y (...) tendrían que marchar de allí...</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>De las poblaciones que conocéis aquí (...) ¿Cuáles os parecen que en esos aspectos pueden estar más en peligro por la subida del nivel del océano? (...). Y ¿por qué y de qué manera?</i>	Desafío	GC-CP
Celso	<i>Por ejemplo, la zona de Sanxenxo porque los edificios están muy cerca del mar y apenas hay distancia entre las playas y muchos de los edificios...eh... si sube el nivel del mar, podría inundar parte de esos edificios...eh...</i>	Datos hipotéticos	GC-CP
Profesor	<i>(...) fijaros, los edificios de Sanxenxo están muy por encima del nivel del mar, pero... ¿Sanxenxo de qué vive?</i>	Datos y desafío	GC-CP
Varios	<i>Del turismo</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>¿Cuál es el mayor atractivo turístico de Sanxenxo?</i>	Desafío	GC-CP
Varios	<i>Las playas</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>Bien. ¿Cómo le puede afectar la subida del nivel del mar a Sanxenxo?</i>	Desafío	GC-CP

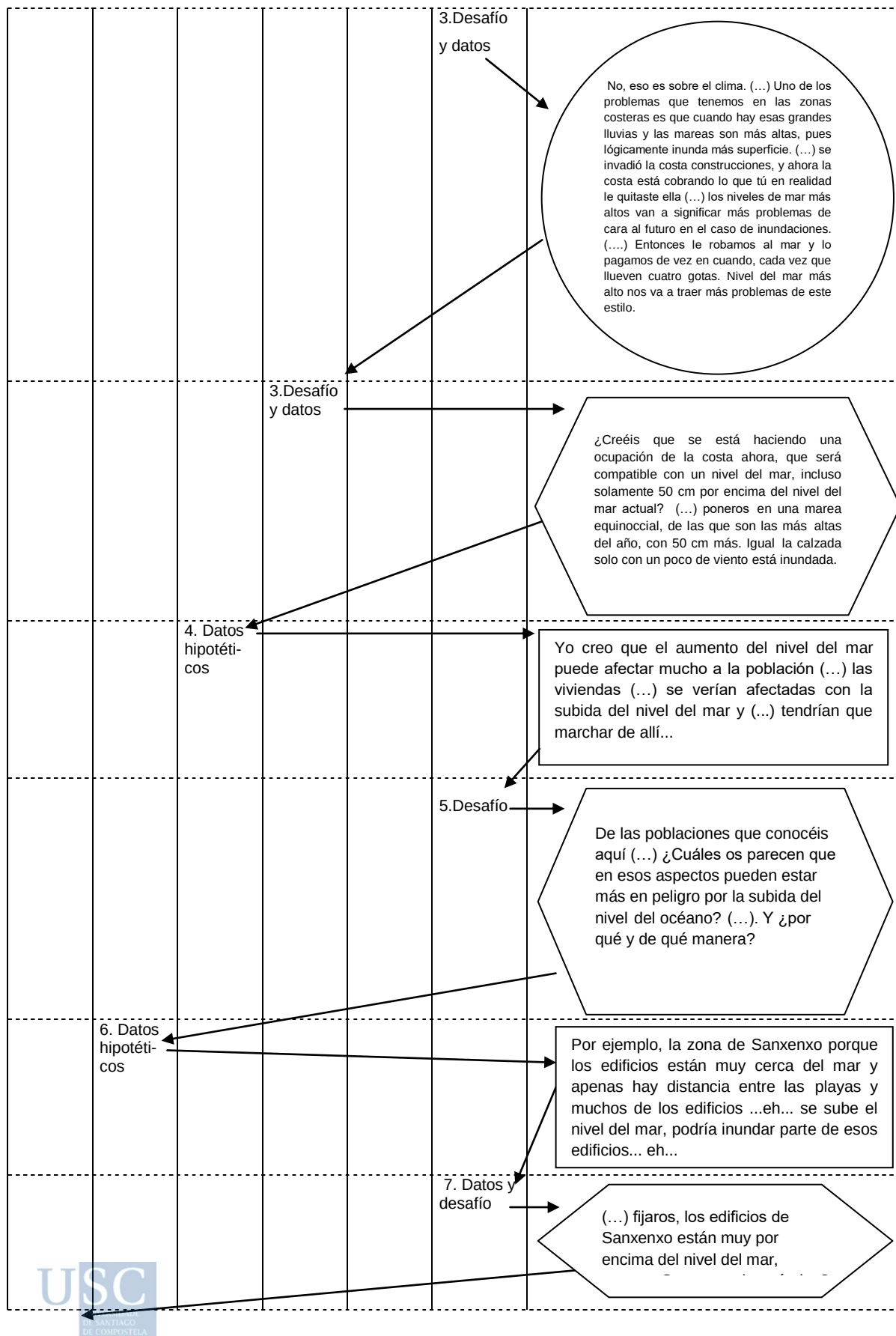
Varios	<i>El retroceso de las playas</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>(...) vale, que el cambio climático tiene un efecto directo, muy directo, con la situación... vamos con los recursos económicos (...) cambios de temperatura en el océano, cambios do nivel do mar, nos van a afectar directamente.</i>	Justificación y respaldo	GC-CP

Figura 4.3.28. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la décima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de Ciencias para el Mundo Contemporáneo conducida por el profesor del grupo científico - tecnológico.

4.3.20.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 10

En la figura 4.3.29 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 10.





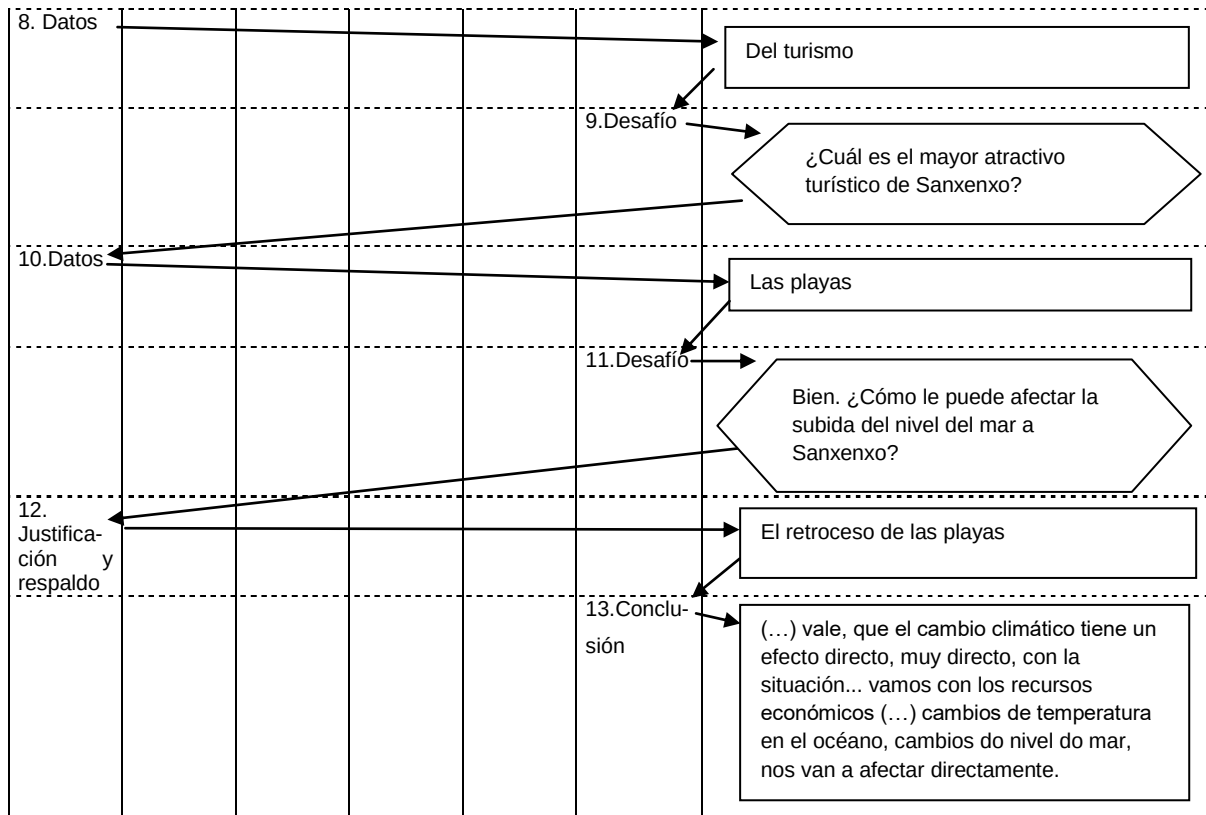


Figura 4.3.29. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la décima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase conducida por el profesor del grupo científico - tecnológico

4.3.20.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 10

En la figura 4.3.30 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 10.

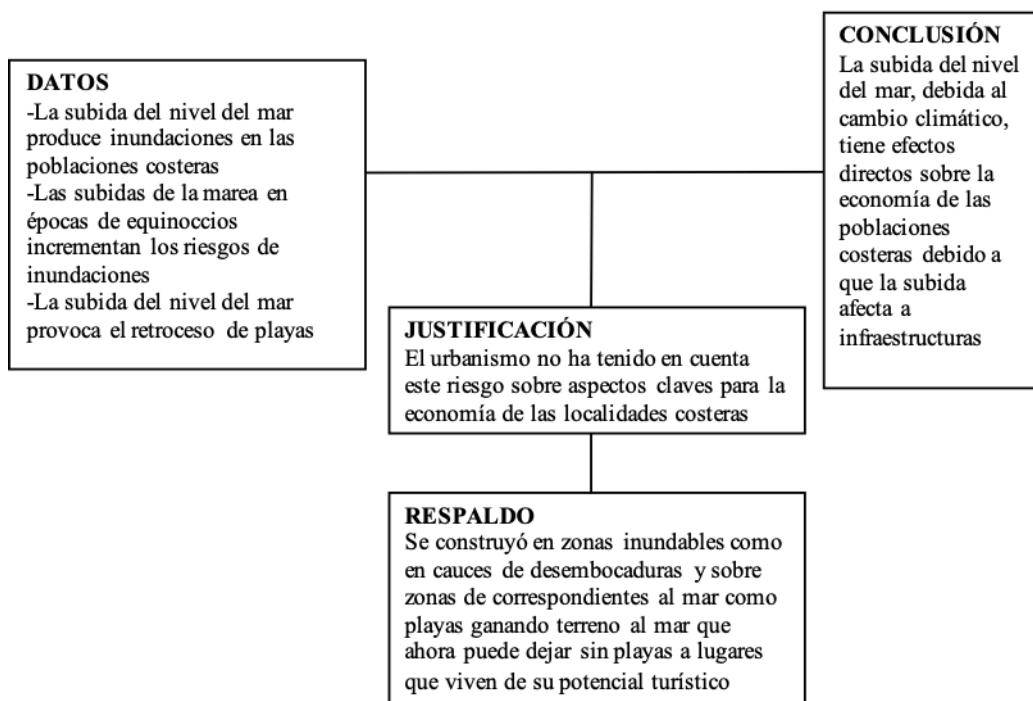


Figura 4.3.30. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la décima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase conducida por el profesor del grupo científico - tecnológico

4.3.21 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la décima cuestión

A pesar de la contextualización del nivel del mar en poblaciones costeras próximas y conocidas por los estudiantes, la argumentación demuestra que sigue siendo distante para los estudiantes. Parece un buen ejemplo del sesgo geofísico que al que se refiere Heras (2013), pues exigiendo la respuesta entrar en consecuencias como inundaciones de casas construidas en zonas inundables, y teniendo todos conocimientos de problemas de esta naturaleza en su pueblo, necesitan que el docente aporte muchos datos y contextualizaciones. Cuando las reciben y asimilan, su argumentación pasa a centrarse en consecuencias relativas a aspectos geofísicos genéricos como es el caso del aumento del nivel del mar en general, lo que lleva al docente a que busquen una población costera gallega que tenga inundaciones, y la que eligen, Sanxenxo tiene su urbanismo desarrollado en pendiente y si estar en bordes de ríos, lo que parece indicar que no consiguen concretar la problemática sobre las edificaciones e infraestructuras.

Para la ciencia del cambio climático es importante el modelo de los impactos del aumento del nivel del mar sobre las áreas costeras. El propio informe del IPCC sobre océano y criosfera (Pörtner et al., 2019) dedica un su capítulo número 4 a comprender los impactos del

aumento del nivel del mare sobre islas, áreas costeras y comunidades de baja altitud. Entre los impactos ya observados de este aumento del nivel del mar, el informe destaca los siguientes: sumersión permanente de áreas terrestres; pérdida de ecosistemas; disminución de la capacidad de drenaje; aumento de inundaciones; aumento de la erosión y la salinización de suelos y de acuíferos. Quizás por ese motivo el docente busca centrar la argumentación de los estudiantes en este proceso de modelización queriendo que la argumentación no se orientara hacia las corrientes marinas por cuanto que la justificación de Carlos de los efectos parecía orientarse hacia cambios microclimáticos derivados a su vez de efectos del cambio climático sobre las corrientes marinas, un factor mucho más abstracto y con menos medición en lo cuantificable por los estudiantes.

Esta dificultad para percibir los efectos de las corrientes marinas sobre la costa, que posiblemente motivó al docente a reorientar por completo la argumentación, se visualiza en el estudio de Rosón et al. (2009) que habla de evidencias indirectas de una posible ralentización de la corriente inercial hacia el Polo causado por un descenso del gradiente meridional (N- S) de temperaturas frente a las costas ibéricas, pero sin dar ninguna medida tangible que deje evidencias directas medidas, por lo que falta de datos disponibles supone dificultades para extrapolar consecuencias para el lugar costero en el que viven los estudiantes. La interpretación de efectos del cambio climático sobre las poblaciones como las que viven estos estudiantes desde las corrientes marinas que busca Carlos puede deberse a que posiblemente sigue centrado en el discurso de la cuestión anterior. Pero aquí no se les propone como reto que vayan a las consecuencias del deshielo y de cambios en el océano a nivel general, sino que el profesor les pide que busquen respuestas de adaptación a la subida del nivel para lo que se deben tener presentes las consecuencias.

Para aproximar a los estudiantes al reto en el contexto en el que viven, el profesor intenta orientar la argumentación hacia escenarios próximos que se podrían derivar de una subida de nivel del mar, presentando impactos urbanísticos conocidos por los estudiantes en su pueblo y en otros próximos. Posiblemente esté pensando también en la oportunidad de entrar en datos de la propia ciencia que cuantifican la subida del nivel del mar en las costas de Galicia. Así, en el mismo estudio de Rosón et al. (2009) cuantifica un aumento del nivel del mar del orden de entre 2 y 2,5 cm por década.

Una buena prueba de las dificultades que se encuentra es la necesidad que siente su colega observador, pues teniendo instrucciones claras de no intervenir nunca, no se resiste a hacerlo para que se hagan conscientes de lo que suponen 50 cm de previsión de aumento en global del que habla el profesor, que en zonas costeras de muy poca pendiente como determinadas playas y bancos de marisqueo de bivalvos que hay en las zonas donde viven los estudiantes, pueden equivaler a una subida del nivel del mar que se aproxima a los 50 metros de longitud. Por eso posiblemente se perdió una buena oportunidad para relacionar el dato que se le aportó de una subida de 50 cm de altura para decir que en zonas como las descritas podría suponer hasta cerca de 50 m de longitud. Esta referencia podría ser relevante porque para los estudiantes 50 cm en altura parece no situarlos ante la magnitud del reto. Esta dificultad para asimilar la magnitud del reto de la subida del mar en las poblaciones costeras, hay que sumar la dificultad de la lentitud del tiempo. Otra cuestión es la asimilación de las consecuencias, que parece llevar al docente a situar el reto en la pérdida de las playas, un espacio relevante para los jóvenes.

Resulta sorprendente que estudiantes de la costa no estén preocupados por este impacto, hecho contrario a los resultados asimilables en otros estudios de caso. Así Lester et al. (2006), como se citó en McGinnis et al., (2017) afirma el alumnado de zonas costeras, como en la que se llevó a cabo el presente estudio de caso, perciben el aumento del nivel del mar como un impacto relevante en sus vidas. Sin embargo, los resultados desprendidos del presente estudio de caso contrastan con esta afirmación, pues el alumnado tiende a enfocar su percepción como algo global, alejado de su entorno más próximo realizando afirmaciones coincidentes con las evidenciadas por McGinnis et al. (2017) en las que un estudiante de un área costera de Estados Unidos también vinculaba el impacto del aumento del nivel del mar con el desplazamiento de millones de personas en algunas áreas como el sureste de Asia pero no era consciente de los impactos que el cambio climático estaba teniendo en su entorno más próximo.

En estas dificultades para aproximar un problema que enuncian en global a su entorno podrían estar influyendo las dificultades de los estudiantes para comprender y analizar este problema en base a modelos que implique un sistema compuesto por una serie de elementos interdependientes, que interaccionan entre sí y, por lo tanto, en los cuales existen bucles de retroalimentación (Shepardson et al., 2017), de tal forma que las consecuencias del cambio climático puedan a su vez convertirse en causas de otras consecuencias, obviando también procesos de retroalimentación que cuesta asimilar por las dificultades, no solo de ese efecto dominó causa y consecuencia, sino también por el horizonte temporal y el retraso temporal de la respuesta en el sistema (Sweeney y Sterman, 2007).

4.3.22 Discusión conjunta y conclusiones del caso 3

La discusión conjunta de los resultados del discurso, argumentación y modelización orientada por el objetivo concreto de investigación de identificar pautas de argumentación en contextos curriculares ordinarios en los que el docente debe dar pie a tener continuidad a las mismas preguntas. Los resultados y las conclusiones de este caso serán tomados en consideración en el caso 4 para buscar posibles cambios en las estrategias de argumentación derivadas de la participación de estudiantes de la especialidad de Humanidades y CC Sociales en la argumentación para responder a las mismas cuestiones. También serán tenidas en cuenta en el caso 5, en el que 6 estudiantes voluntarios de este mismo grupo de la especialidad de Humanidades y CC. Sociales, 3 meses después, responderán a las mismas cuestiones, pero esta vez sin la intervención del docente.

En relación a la primera pregunta de investigación, ¿qué particularidades introduce la dirección total por parte del docente de la estrategia de la argumentación que no existían en los casos 1 y 2, y que en medida se introducen, con esta dirección docente, fortalezas y debilidades?, las pautas de la argumentación van dirigidas a que el docente esté lanzando constantemente retos para que los estudiantes argumenten (Berland y Hammer, 2009). Con esa estrategia se genera un flujo de argumentación facilitador de procesos de modelización de ciencia escolar sobre cambio climático muy útiles para articular diseños de andamiajes de enseñanza y aprendizajes sobre cambio climático. Al profesor se le dio la instrucción de que procurara solo hacer preguntas sin dar información para obligar a los estudiantes a expresar sus ideas, proporcionando solo como último recurso la información. Esto lo hizo solo cuando vio que la argumentación se descentraba o no surgía. En estas situaciones incluso intervino el propio observador, otro profesor del mismo centro y también del Departamento de Ciencias

Naturales. Las situaciones en las que se dieron estas circunstancias fueron aquellas que conllevaban sesgo geográfico (Heras 2013) por distantes y desconocidas para los estudiantes como las consecuencias del deshielo de los polos y también aquellas en las que los modelos implicados implicaban un sistema compuesto por una serie de elementos interdependientes (Shepardson et al., 2017), que interaccionan entre sí y, por lo tanto, en los cuales existen bucles de retroalimentación que terminan en efectos directos sobre su entorno, como en el caso de las consecuencias de la subida del nivel del mar. En general el profesor logró generar, con las estrategias de argumentación con las que buscó respuesta a las diez preguntas, un ambiente de aprendizaje que animó a los estudiantes a razonar y discutir activamente.

Las pautas de argumentación estuvieron más mediatizadas por el docente, aunque en su rol tuvo claro que su conducción del flujo del discurso, en la argumentación, debía conseguir que los estudiantes fueran creadores de significado (Cornelius y Herrenkohl, 2004) valiosos para la argumentación. Aunque en determinados momentos posiblemente se mostró demasiado impaciente y seguramente debía dar más tiempos de aceptación y espacios para la intervención espontánea. Se concluye que este tipo de pautas mediatizadas por el docente se debe tener paciencia y tener planificadas baterías de preguntas alternativas vinculadas a la pregunta general, una vez analizados en la bibliografía problemas de aprendizaje e ideas alternativas.

Estas pautas de argumentación más mediatizadas y conducidas por el docente, que las de los casos 1 y 2, se han mostrado más estructuradoras del discurso para construir argumentos más sofisticados, si bien posiblemente la modelización mental queda más debilitada o incluso puede implicar pocos avances en la evolución de los modelos mentales iniciales, tal y como expresan Engle y Conant (2002) cuando sostienen que a veces el diálogo no constituye una mejora en la calidad y sofisticación de los argumentos, del desarrollo de nuevas ideas y de la comprensión los contenidos propios de la disciplina. Aunque este planteamiento de mediatización docente resulta estructurador, se consigue abordar bastante más diversidad de modelos que cuando el discurso dialógico argumentativo lo conducen los propios estudiantes de forma autónoma. En este caso, mediatizado por el docente, en menos tiempo se brindan más oportunidades de construir y evaluar argumentos, relacionar conclusiones con evidencias y construir explicaciones y contraargumentos (Kelly et al., 2001). También se aportan más hechos y datos, aunque parecen ser menos evidentes y significativos para los estudiantes. Estas estrategias de argumentación dirigidas por el docente permiten establecer una mayor tensión entre el discurso dialógico y el discurso autoritario, facilitando que el discurso se centre más en el contenido desde la perspectiva de la disciplina. Con estas estrategias la disponibilidad del docente es inmediata y puede resultar más efectivo para ayudar a los estudiantes en la construcción de los argumentos que se necesitan en el proceso de modelización.

La evaluación de ese proceso deja muchos y diversos patrones a seguir en el proceso de modelización, por lo que puede resultar muy eficaz a los docentes que analicen la investigación para planificar fuertes andamiajes facilitadores de evoluciones ágiles y eficaces de los modelos mentales iniciales con los que se va a encontrar en el aula.

En relación a las otras dos cuestiones de investigación: ¿qué estrategias utiliza el profesor para conducir la argumentación en función de la especialidad científico – tecnológica de los estudiantes y como influyen estas en el avance de los modelos mentales? y ¿cómo influye la especialidad y orientación vocacional hacia el ámbito científico tecnológico en los procesos

de argumentación y en la evolución de sus modelos mentales sobre cambio climático?, se debe retomar cuando se analice el caso 4, en el que el mismo docente dirige la argumentación para dar respuesta a las mismas diez cuestiones en el grupo de la especialidad de humanidades y ciencias sociales. Por eso se debe volver a retomar su discusión en ese otro caso en el que el grupo implicado sea el de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

De lo analizado en este caso parece desprenderse una confianza del docente en la aproximación de los modelos mentales de los estudiantes a los propios de la ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular. Esto se puede interpretar desde el punto de vista de que, debido a la especialización científica que están siguiendo, puede estar suponiendo una coherencia científica de la argumentación que en varios modelos no parece verse refrendado por la coherencia científica del discurso. Por eso habrá que estar atentos a la comparativa con lo analizado en el caso de la argumentación dirigida por completo por el docente en el grupo de la especialidad de humanidades y ciencias sociales. Entre estos modelos mentales que parece aceptar y cuya coherencia que no se acaba de visualizar con claridad cabe citar:

- El docente parece asumir que los estudiantes entienden que el efecto invernadero como la retención de radiación calorífica emitida por la tierra, cuando los datos evidencian que entiende que se retiene la luz que llega del sol.
- Posiblemente también da por hecho que la especialidad garantiza que diferencia el valor del grado en climatología y en meteorología, cuando los datos evidencian que lo están interpretando en términos meteorológicos al no dar importancia a la diferencia de tres grados.
- Asume que tienen claras las relaciones tróficas y por tanto los cambios de clima que afecten a los productores afectarán al conjunto del ecosistema, cuando los datos evidencian que los cambios los analiza en efectos sobre los animales y sobre todo en términos migratorios. También asume la validez de todas las argumentaciones en base a animales, explicando los cambios en base a su emigración, no pareciendo buscar, en especial en lo relativo a la relación con las especies invasoras o con los incendios. Sí parece que cuando recurre a los terrenos húmedos próximos al centro transmite la sensación de que se extraña que no pongan ejemplos de los efectos sequías sobre las plantas.
- Parece dar por hecho que, dada la especialización, tienen claro la relación de la fotosíntesis con la fijación del carbono y los procesos de respiración y descomposición con las emisiones, y por eso cuando hablan de “comer” como fijación, parece entender que tienen la fotosíntesis conceptualizada como el proceso de fijación de carbono.
- Da por sentado que entienden el principio de Arquímedes y posiblemente el buen razonamiento que entiende que hacen en la diferencia de los efectos sobre la subida del nivel del mar en el hielo continental y flotante, le hace perder de vista la influencia de la dilatación térmica.
- Considera que comprenden los modelos de fosilización que conduce a la formación del carbón y del petróleo y sus implicaciones en las relaciones de la alteración del ciclo del carbono con el cambio climático, porque no invierte ningún esfuerzo en profundizar en ese proceso de modelización que es clave para relacionar esos procesos con el cambio climático.

- Cuando hablan, en términos de desconocimiento del Polo Norte, pero dicen que allí siempre es de día, posiblemente esté suponiendo que se refiere a las noches blancas, lo que puede ser una situación en la que también el docente esté confiando en el dominio de modelos básicos de ciencia escolar que es posible que les presuponga por la especialidad.
- Es posible que dé por supuesto conocimientos profundos de relaciones entre diferentes factores implicados por el cambio climático en expresiones generales y abstractas que son resultado de interacciones y retroalimentaciones, como es el caso de cuando se van a las corrientes marinas. Posiblemente esa confianza en la comprensión de esas interrelaciones le hace perder de vista otras relaciones más evidentes, medibles y directamente impactantes en el territorio del entorno como es el caso de las relaciones del cambio climático con los efectos de la subida del nivel del mar en las costas.

Estos aspectos invitan a analizar si el docente les presta igual o diferente atención en el caso del grupo de la especialidad de humanidades y ciencias sociales.

4.3.23 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación

El desarrollo de estrategias de argumentación en las que el docente se posicionó más en el rol de facilitador del conocimiento (casos 1 y 2) y no tanto en la dirección plena de las estrategias de argumentación (casos 3 y 4) se han mostrado como una herramienta eficaz para un cambio conceptual eficaz, sólido y productivo en el proceso de la evolución de los modelos mentales de los estudiantes, pero son procesos lentos para el desarrollo de procesos de enseñanza y aprendizaje en contextos de elevada densidad conceptual como es el caso del currículo de secundaria. Esto posibilita además muchos matices y modulaciones creativas en el lenguaje como formas interactivas de interacción social en comunidades coproductoras de argumentos facilitadores de interesantes procesos de modelización (Vasilachis de Gialdino et al., 2006).

Pero los procesos de argumentación conducida por el docente, como ocurre en este estudio de caso, permiten abordar una extensión amplia de modelos y contenidos curriculares que en las co-construcciones de los escolares con el docente en un rol más de facilitar del conocimiento no dan alcanzado tanta extensión. Además, desde el punto de vista de la investigación, de los esfuerzos del docente para orientar la argumentación hacia las necesidades evolución de los modelos mentales de los estudiantes, así como de las oportunidades perdidas, permiten al docente que analiza la investigación encontrar diversos caminos y opciones en las planificaciones de sus andamiajes, y por eso las investigaciones de este tipo de estrategias de argumentación dirigidas por el docente se muestran muy interesantes para los nuevos modelos de ciencia escolar que demandan los nuevos paradigmas transversales centrados en el cambio climático.

Se evidencia la necesidad de que los docentes, cuando se enfrentan a este tipo de direcciones de procesos de argumentación sobre temas tan pluriangulares y complejos como son los relacionados con el cambio climático, tengan paciencia esperando las respuestas de los estudiantes y tengan al mismo tiempo planificada una batería de preguntas estimuladoras de la participación y centradoras de la argumentación.

Entre estos paradigmas tiene un peso específico singular el de pensar y actuar tanto local como globalmente (Townsend, 2011). En esta línea se necesitan modelos nuevos de ciencia escolar que permitan afrontar las barreras relativas al horizonte temporal y la incertidumbre asociada al aumento del nivel del mar que se recogen en el informe IPCC sobre océano y criosfera (IPCC, 2019). Este aumento afecta a diferentes países, sectores y dominios climáticos con impacto negativo sobre la vulnerabilidad social y equidad; con los consiguientes efectos sobre el aumento del conflicto social. En relación con este último aspecto, el IPCC (2019) expone como el aumento del nivel del mar puede actuar como catalizador de múltiples conflictos sociales dado que impactará a diferentes actividades humanas.

El análisis de las estrategias de argumentación seguidas en este caso pone en evidencia la necesidad de generar representaciones mentales en los escolares sobre el cambio climático que permitan hacer frente a dos grandes barreras psicológicas (Gifford, 2011):

1) Por un lado, debe superarse la barrera de la menor percepción del riesgo en impactos futuros, porque los perciben con mucha menos intensidad y preocupación que en los presentes. Situarlos en esos impactos futuros a los que apuntan, los escenarios IPCC, los lleva a ser menos conscientes y estar menos preocupados porque sus acciones negativas puedan repercutir en el futuro. Por eso van a ser más resistentes al cambio que aquellas de efectos inmediatos.

2) La otra gran barrera que se debe superar es la derivada de que la percepción psicológica de que los impactos del cambio climático siempre son más intensos en zonas lejanas, aun cuando estos también están afectando a la zona donde viven las personas, como es en este caso por ser una zona costera con plantaciones de eucaliptos, sin que aparezca en la argumentación del grupo clase ningún impacto en el ámbito del turismo, marisqueo, pesca e incendios en el contexto próximo.

Es importante tener presente la barrera que evidencia este caso sobre la falta de alusión a los problemas locales del cambio climático a los que se refieren Barros y Pinheiro (2020). Llama la atención que adolescentes implicados en procesos de Educación Ambiental curriculares se mostraran más preocupación sobre la situación en el mundo que sobre la situación de su propia ciudad. Existe también una coincidencia clara con este estudio de caso que debe dejar implicaciones didácticas en la línea de generar estrategias de argumentación y modelización sobre la baja frecuencia con que se mencionan los impactos marítimos, y por tanto a su baja representación mental. Las implicaciones didácticas de esta coincidencia tienen más relevancia porque también en este caso los participantes vivían en áreas costeras. Esto llama todavía más atención por lo expresado por (Gifford, 2011) como el sesgo de optimismo espacial, ya que en su estudio el 56% de los participantes escogieron no grave o no muy grave para su propia ciudad. En ese sentido se deben incorporar propuestas didácticas que aproximen a las localidades donde viven atendiendo a los mayores riesgos actuales y futuros. Incluso interesa generar noticias auténticas, creíbles para trabajar como problemas auténticos para evitar que la presencia de impactos lejanos en los medios y la ausencia de impactos en la localidad puedan llevar a la creencia de que los problemas no me ocurren a mí, solo a otros. Esta perspectiva emocional también se sugiere en la literatura como un aspecto influyente que mantiene la distancia psicológica.

En ese sentido deben sacarse implicaciones didácticas de las dificultades que parecen tener los estudiantes para entender que los incendios pueden aumentar en cantidad, intensidad y riesgo con el cambio climático, a pesar de vivir próximos al medio rural con plantaciones importantes de eucaliptos. Es importante este tipo de relaciones que suponen un riesgo potencial elevado para evitar la barrera psicológica de que una acción individual puede no ser efectiva para mitigar este problema global (Gifford, 2011).

Se debe tener presente en esta nueva modelización de ciencias del cambio climático que la negación de su gravedad puede ser una manera de manejar el problema sin tener que implicarse en actividades para la mitigación (Doherty & Clayton, 2011; Gifford, 2011) y se debe buscar una educación científica escolar que implique a los estudiantes en actividades e mitigación del problema para que no se escuden a nivel psicológico en que una acción individual no funcionará, porque requiere el papel de otras personas. Por eso de este caso se debe extraer implicaciones didácticas de los esfuerzos fallidos del docente para aproximar el problema a ellos con el aumento de riesgos de incendios, en especial en el caso de especies pirofíticas introducidas como el eucalipto, y los riesgos de inundaciones de la subida del nivel del mar.

A modo de síntesis, los resultados así analizados sugieren que el discurso que se genera en estos contextos dirigidos por el profesor fluye con facilidad, se acota bien en el tiempo en la forma, pero la comparación con el estudio de los casos 1 y 2 sugiere que resta profundidad y grados de libertad en relación al discurso generado sin la intervención docente.

Otra conclusión que parece desprenderse de este análisis de resultados es que la conexión entre lo local o contextual y el modelo global del cambio climático resulta ser de una especial dificultad. En este sentido, una de las principales dificultades que parecen desprenderse del estudio es la dificultad de que el alumno pueda tener bien integrados los cambios en los polos derivados del calentamiento global y los movimientos de circulación general en el océano (corrientes marinas) y en la atmósfera por ocurrir en entornos lejanos (Heras, 2003).

Los modelos de ciencia escolar que se demandan acaban siendo poco intuitivos y confusos en el sentido de que una consecuencia de un factor puede convertirse en causa de otro. La medida del grado climatológico muy apreciable por termómetros callejeros e información meteorológica acaba siendo una barrera para entender las graves consecuencias del aumento de solo un grado en términos de medida global climatológico. Esto asociado a no considerar los impactos sobre la vegetación en los ecosistemas, centrándose solo en las consecuencias para los animales, supone dificultades de percepción de los riesgos para los ecosistemas del cambio climático.

Esta síntesis de conclusiones motiva que en apartado 6 de implicaciones didácticas se aborden estrategias de argumentación y actividades para:

- Representar series de datos climatológicos y comparar especies vegetales bien adaptadas a climas muy diferentes en el desarrollo de las estrategias de argumentación vinculadas a la actividad.
- Analizar infografías, animaciones y demostraciones prácticas que hagan evolucionar el modelo mental del efecto invernadero hacia la retención de radiación calorífica infrarroja por parte de la Tierra.

- Generar andamiajes de argumentación desde series infográficas de simulación de evolución de un ecosistema desde una duna, un terreno de cultivo de última cosecha o un bosque incendiado hacia una comunidad climas.
- Medir aumento del nivel del mar en la costa según los datos de previsiones para Galicia y hacer el dibujo del paisaje hace 100 años y ahora. Las estrategias de argumentación basadas en estas fotografías antiguas y dibujos del pasado y del futuro desde medidas tomadas en playas, permiten desarrollar las correspondientes argumentaciones sobre las consecuencias del nivel del mar.
- Simular en laboratorio el deshielo del hielo flotante del Polo Norte y el deshielo dl Polo Sur para analizar, mediante las correspondientes estrategias de argumentación, que el deshielo que afecta es el del polo sur. Medir temperaturas del agua antes y después del deshielo.
- Medir dilataciones térmicas de varios cuerpos consiguiendo que el agua desborde del recipiente pírex para argumentar sobre el “factor oculto” de la subida del nivel del mar.
- Realizar juegos de rol sobre decisiones urbanísticas y obras públicas en entornos costeros y argumentar, apoyándose en fotos, vídeos y animaciones, desarrollar estrategias de argumentación sobre las consecuencias de inundaciones.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 4: ARGUMENTACIÓN DE UN GRUPO CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD DE HUMANIDADES Y CC. SOCIALES CONDUCTIDA POR EL DOCENTE.

4.4.1 Introducción

En este estudio de caso se analizaron 80 minutos (dos sesiones de clase consecutivas) del discurso de 15 estudiantes del primer curso de la enseñanza media superior del sistema educativo español (1º de Bachillerato) y del profesor. La modalidad de bachillerato, en este caso, es humanidades y ciencias sociales. Se grabó la puesta en práctica del coloquio conducido por el docente que tomó como recurso didáctico principal la exposición sobre cambio climático del proyecto Climántica (anexo II) y que se diseñó sintetizando en este marco el contenido del libro didáctico nº 1 del proyecto Climántica ¿Cambia el clima? Se respondieron 8 de las 9 cuestiones seleccionadas por el docente entre las que figuraban en los seis primeros paneles de la exposición.

El profesor fue el conductor de la argumentación. Se trata de un grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Al igual que en el estudio del caso 3 de la modalidad científico-tecnológica, además del docente que imparte la materia de libre configuración de Climántica, en los dos grupos clase de las dos modalidades (científico-tecnológica y humanidades y ciencias sociales), aquí también participó un observador tal como se indica en el apartado 3.4.2 del apartado de Metodología.

El punto de partida de este caso consistió en la visualización de la exposición de cambio climático desplegada en el *hall* del centro educativo y su explicación por parte del docente, dedicando, como en el caso 3 del grupo de la modalidad científico -tecnológica, 20 minutos

para la visualización y explicación. Los 80 minutos restantes del conjunto de las dos sesiones se utilizaron para el coloquio en el aula. En ese coloquio se respondió a la misma secuencia de preguntas, si bien se pasó de la 7 a la 9 cuando el docente comprobó que no le daba tiempo a abordar las argumentaciones colectivas necesarias para responder a las nueve. En concreto se respondieron a estas preguntas:

1. ¿Es malo el CO₂ para la vida?
2. ¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?
3. ¿Una selva es un sumidero de CO₂?
4. ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?
5. ¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?
6. ¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?
7. ¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?
9. ¿Cómo puede afectar a Galicia un aumento de temperatura en Groenlandia?

Este estudio, además de contribuir a las respuestas a la segunda pregunta de investigación general (PI2), siguiendo las orientaciones del segundo objetivo de investigación (O2), en sus dimensiones particulares se orienta por su objetivo específico particularista:

- Analizar pautas de argumentación y su incidencia en procesos de modelización en contextos curriculares ordinarios de la modalidad de humanidades y ciencias sociales del Bachillerato en los que el docente dirige los coloquios orientados a desarrollar capacidades de argumentación para conseguir dar respuestas a preguntas relativas a las ciencias del cambio climático.

Este objetivo particularista propio del caso se planteó para orientar las respuestas a estas dos sub-preguntas particulares para este estudio de caso:

1. ¿Cómo conduce el docente argumentación en función de la modalidad de humanidades y ciencias sociales y de las necesidades de modelización?
2. ¿Cómo influye la modalidad de humanidades y ciencias sociales en los procesos de argumentación y en la evolución de los modelos mentales sobre cambio climático?

Los 80 minutos dedicados al coloquio se grabaron en audio y vídeo. El material grabado fue transcrito en su totalidad y se analizó la totalidad de la argumentación correspondiente a las respuestas colectivas a cada una de las preguntas del coloquio dirigido por el profesor y que implicó a la totalidad de la clase. Una vez realizada la separación de los ocho fragmentos de discurso, uno por cada respuesta a cada una de las ocho cuestiones que se respondieron en el coloquio, se procedió a categorizar cada intervención aplicando las categorías de Toulmin adaptadas con las aportaciones de diferentes investigaciones sobre la argumentación relativa a las Ciencias de la Naturaleza y Educación Ambiental (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993).

Con el discurso transcrito, una vez categorizado, se obtuvieron los mapas del discurso inspirados en Hogan et al. (2000), siguiendo los patrones de las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 del capítulo de Metodología. Con este análisis se pretende clarificar cómo se va construyendo el discurso en relación a la dinámica del grupo, la secuencia de acciones que se van desarrollando en relación al agrupamiento en que se produce la comunicación y los agentes que interactúan y comunican.

Una vez desarrollado el mapa del discurso se procede a realizar una representación del argumento mediante un esquema de Toulmin representando en la figura 3.2 del apartado de Metodología. La calidad del argumento esquematizado se valora mediante los patrones de referencia de la rúbrica expresada en la tabla 3.1 del apartado de Metodología.

Para analizar el proceso de modelización obtenido con el pensamiento colectivo que queda recogido en el argumento expresado en el discurso se sigue el diagrama de flujo de la figura 3.10 del apartado de Metodología. A su vez su valoración se hace mediante las puntuaciones de los patrones de referencia de la rúbrica de la figura 3.2.

Los resultados así analizados muestran que el papel del docente conduciendo el coloquio manifiesta una menor implicación en los aspectos relativos a los respaldos científicos que en el caso con las mismas cuestiones en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. Los resultados también mostraron que los estudiantes de ciencias sociales dominan mejor las estrategias, técnicas y competencias relacionadas con la argumentación que los de la modalidad científico-tecnológica, lo que se puede explicar en base a que esta metodología es básica en las materias modales de ciencias sociales. También mostraron mejor desempeño en las estrategias de argumentación que implican cuestiones relativas a climatología y ubicación geográfica, pero sin mostrar dominio en conceptos como fotosíntesis, fosilización, principio de Arquímedes, bomba termohalina, etc.

4.4.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.4.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.4.1 recoge los resultados obtenidos del análisis y categorización del discurso relativo a la respuesta a la primera cuestión mediante el coloquio conducido por el profesor y destinado a la participación del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para dar respuesta colectiva a la cuestión: ¿es malo el CO₂ para la vida?

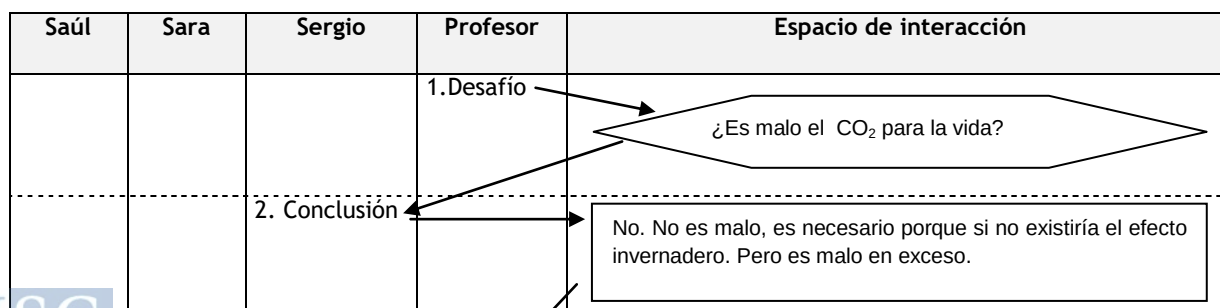
Profesor	<i>¿Es malo el CO₂ para la vida?</i>	Desafío	GC-CP
Sergio	<i>No. No es malo, es necesario porque sino no existiría el efecto invernadero. Pero es malo en exceso.</i>	Calificador modal, Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Es malo en exceso, sí.</i>	Acuerdo. Conclusión	GC-CP
Sergio	<i>Debido a que hace que el calor no pueda salir con normalidad de la Tierra, hace aguantar más calor, dentro de la atmosfera; entonces hace subir la temperatura, lo que es malo para los... ¿Cómo se llama? para...</i>	Respaldo	GC-CP

Profesor	<i>Para los seres vivos.</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>En los medios de comunicación siempre se habla de efecto invernadero como el problema, vale. Intentar aclarar si eso del efecto invernadero es un problema o en realidad es lo que nos permite vivir. Sara, ¿Tú qué opinas?</i>	Desafío	IN-CP
Sara	<i>Que el efecto invernadero tiene sus inconvenientes, pero también tiene algunas ventajas, o sea, el mayor inconveniente que tiene es que (si aumenta demasiado) en la Tierra nos pasaría como en Venus, que si va aumentando la “capa de ozono” pues... los rayos del Sol no saldrían para fuera y la Tierra estaría muchísimo más caliente y podríamos llegar a unas temperaturas muy altas.</i>	Justificación, Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>¿Cómo pensáis entonces que debería poner en los periódicos cuando hablan de que el efecto invernadero es el gran problema ecológico?</i>	Desafío	GC-CP
Sara	<i>El aumento del efecto invernadero.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Espera Saúl. Te escuché, te escuché.</i>		GC-CP
Saúl	<i>Que el problema... deberían decir el aumento, el exceso del efecto invernadero, porque sin él (efecto invernadero) no se podría vivir.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>De acuerdo. Bien</i>	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.4.1. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase conducida por el profesor del grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.4.2 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo clase de humanidades y ciencias sociales en la respuesta a la cuestión 1.



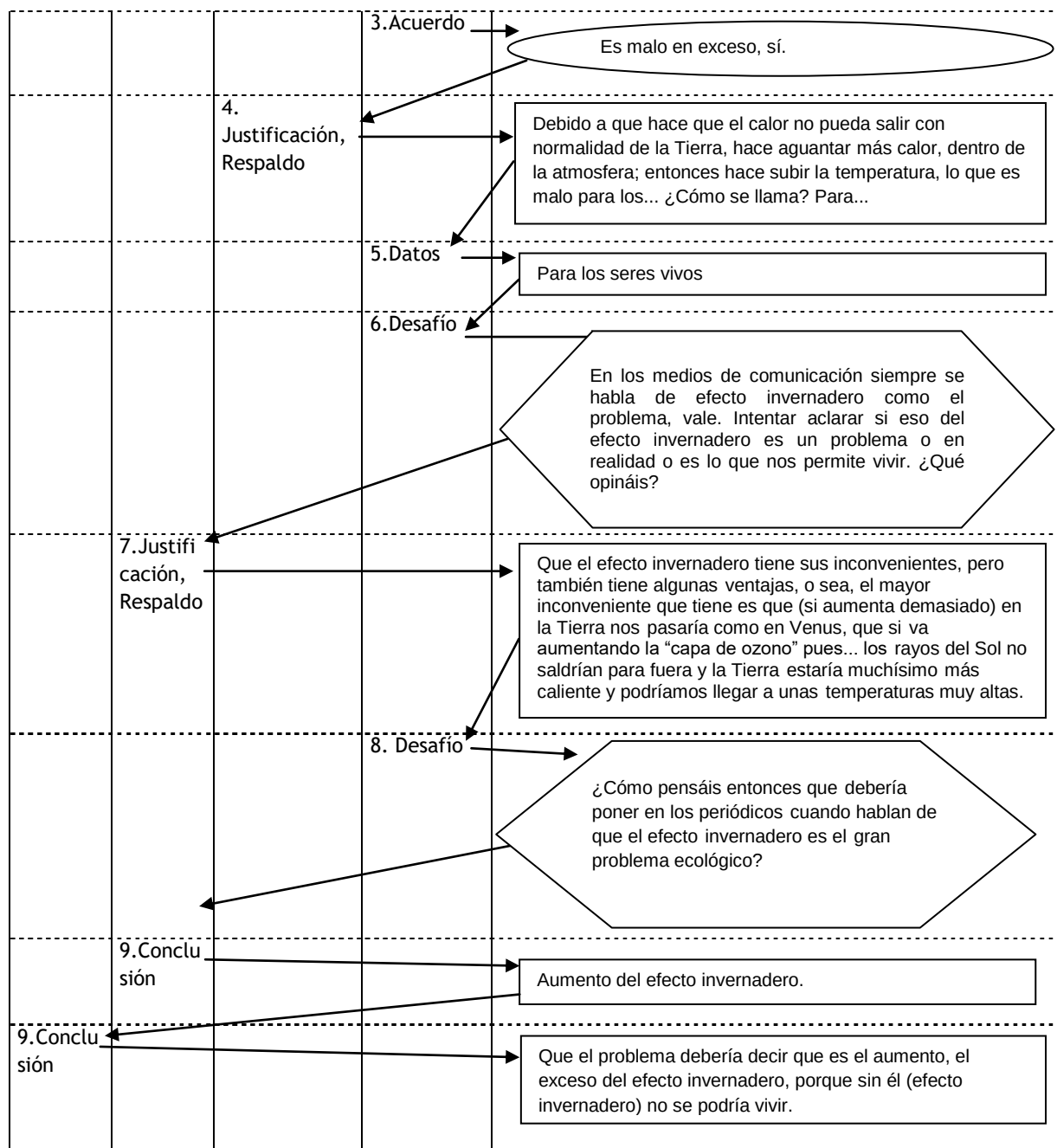


Figura 4.4.2. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase de humanidades y ciencias sociales mediante el coloquio conducido por el profesor.

4.4.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.4.3 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº1 en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Se destacan los elementos aportados por el docente con el color rojo del cuadro.

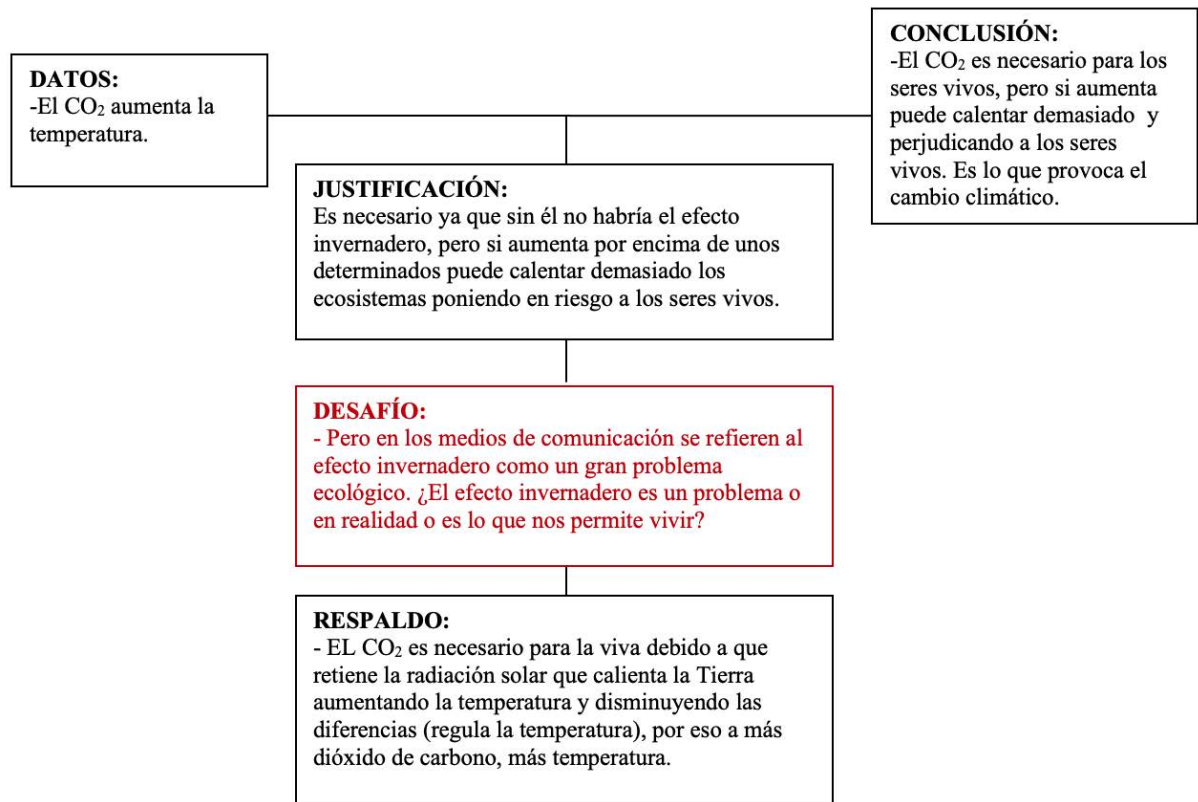


Figura 4.4.3. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin de la argumentación en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio para la clase de humanidades y ciencias sociales conducido por el profesor (sus aportaciones más relevantes a la argumentación van en color rojo).

4.4.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión

Parece que estos estudiantes a los que se les supone, por vocación y especialización, menos conocimientos básicos de ciencia, tienen un buen nivel de desempeño en las estrategias de argumentación que demanda esta pregunta. Posiblemente esto tenga dos explicaciones: el hecho de que estos estudiantes de ciencias sociales tengan el clima en su marco curricular, por un lado, y por otro que trabajan en sus metodologías didácticas con la transformación social como referente en sus objetos de estudio curricular. También hay que tener presente en este buen desempeño en argumentación sobre ciencias del cambio climático el hecho de que la enseñanza y aprendizaje de las ciencias sociales tenga en la conversación una herramienta de enseñanza y aprendizaje básica y fundamental (Bonals, 2021).

Este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales introduce con acierto y de forma inicial el concepto de efecto invernadero en su enunciado, aunque no justifican la importancia de su papel regulador térmico, ni en qué medida si esta regulación se pierde, afecta a los seres vivos. Por eso el profesor los desafía a que argumenten si el efecto invernadero es necesario para los seres vivos o un problema ecológico. La respuesta a ese reto lleva a Sara a situar con rigor el problema ecológico como aumento del efecto invernadero, que Saúl confirma y aclara. Estas dos intervenciones sobre el modelo del efecto invernadero

ponen de manifiesto un dominio bastante preciso del conocimiento básico implicado por parte de los estudiantes que se especializan en ciencias sociales.

Sin embargo, cuando Sara explicita lo que entiende por aumento de efecto invernadero, confunde los gases de efecto invernadero con la capa de ozono, un error que se sitúa la idea alternativa de la relación del ozono con la retención de la radiación calorífica, entendiendo esta capa de ozono como una capa de gases contaminantes. Este modelo se describe en investigaciones sobre los modelos alternativos de los estudiantes, en concreto, se corresponde con el modelo 4 que se describe en García-Rodeja y Lima (2012) y que se describe como un modelo de nivel 3 en Varela et al. (2020). El profesor perdió una ocasión para hacer explícitos los modelos alternativos, en este caso atribuir al dióxido de carbono un aumento de la capa de ozono que retiene más calor para enfrentarlos al modelo de la ciencia escolar. El docente, ante la aparición de este modelo mental calificado como de nivel 3 (Varela et al., 2020), debería tener preparados andamiajes para facilitar su evolución a lo largo de la argumentación colectiva que se está construyendo en ese coloquio hacia el modelo de la ciencia escolar.

La retención de la luz solar por parte del dióxido de carbono y no del calor que emite la tierra es otro de los modelos alternativos más comunes sobre cambio climático, tal y como ya apuntaron Shepardson y col. (2011). Sin embargo, aquí Sergio explicita claramente la retención de calor (radiación infrarroja) que es la que se retiene, no la radiación solar incidente en la que predomina la visible y la ultravioleta, indicando que el dióxido de carbono *“hace que el calor no pueda salir con normalidad de la Tierra, hace aguantar más calor, dentro de la atmósfera; entonces hace subir la temperatura, lo que es malo (...)”* Esta representación mental se aproxima al nivel 4 (Varela et al., 2020), y su formulación resulta orientativa para introducir este modelo en la ciencia escolar. En esa línea es importante, para completar ese modelo, generar la evolución de la modelización buscando el cambio conceptual de la idea de aumento de la capa de ozono por aumento de dióxido de carbono en la atmósfera. Para esa evolución resultó interesante integrar lo expresado por Saúl para referirse a cómo debería expresarse la relación entre el aumento de dióxido de carbono y el cambio climático. Interesa incorporar en el modelo de ciencia escolar la expresión del aumento del efecto invernadero debido al incremento en las emisiones de gases expresado por Saúl como que *“el problema debería decir que es el aumento, el exceso del efecto invernadero, porque sin el efecto invernadero no se podría vivir”*. La construcción de modelos de ciencia escolar eficaces y coherentes resulta interesante, porque como afirma García-Rodeja y Sesto (2021), cuanto mayor sea la comprensión de los individuos sobre este problema ambiental, mayor será su capacidad de usar este tipo de representaciones mentales en la toma de decisiones sobre respuestas que debemos abordar el conjunto de la ciudadanía.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 del capítulo de Metodología, en el apartado de hechos, a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación media de 2 puntos, porque, aunque se apoya en hechos hipotéticos con coherencia científica, no apuntan los datos empíricos comprobados por la ciencia de una concentración de dióxido de carbono de 0,04% o del orden de 400 partes por millón. En relación al apartado de justificación, se le otorga la puntuación media (2 puntos) porque, aunque se expresa una buena concordancia entre los hechos y las conclusiones, no se ha hecho ningún avance en el desarrollo del discurso al modelo de nivel 3 (Varela et al., 2020) en este caso atribuye al aumento de la retención de calor por el aumento de ozono debido al aumento de las emisiones de dióxido de carbono. En la conclusión se le otorga la puntuación máxima (3 puntos) porque se expresa con toda claridad la importancia del dióxido

carbono para la vida, enunciando también los problemas que puede tener para el clima su exceso. Por tanto, se valora el argumento con una puntuación de 7 puntos sobre los 9 que tendría un argumento de valoración máxima, un punto más que en el caso 3 porque los hechos tienen más calidad.

La secuencia del flujo del discurso se correspondería con un patrón colaborativo expresado por la figura 3.6, lo que es coherente con lo categorizado por Hogan et al. (2000) por tratarse de patrones propios de interacciones receptivas que se dan en contextos en los que el docente hace preguntas al grupo y en el que hacen aportaciones sustantivas más de dos estudiantes.

La modelización, a diferencia de la seguida en el caso 3, en el que no se consideró relevante, las estrategias de argumentación permiten identificar en la respuesta eventos que implican modelización siguiendo las orientaciones de la figura 3.10 del capítulo de Metodología, porque logran un aceptable desarrollo ontológico de la retención del calor y situar el problema en un aumento del efecto invernadero, algo que se echó en falta en la respuesta del evento 3. El acierto es importante, y solo aparece la discordancia de Sara introduciendo elementos de un modelo categorizado en el nivel 3 por Varela et al. (2020) y que se corresponde con el modelo 4 descrito en García-Rodeja y Lima (2012), por cuanto que entiende que el aumento de dióxido de carbono hace incrementar la capa de ozono y parece entender esta capa como una capa de gases contaminantes que retienen el calor. Como no existen oposiciones ni alternativas de los estudiantes en la aplicación del modelo y no se han usado símiles ni analogías, la modelización que se evidencia se expresaría gráficamente por la infografía correspondiente al nivel 3 de Varela et al. (2020). Por ese motivo no tiene la coherencia curricular suficiente para actuar como un modelo de ciencia escolar. Al no tener éxito se debe revisar para incorporar en la modelización los elementos de cambio conceptual que garantizan su evolución hacia un modelo del nivel 4, en la clasificación en el discurso no se identifica ningún evento que implique procesos de modelización que se desarrollen a través de las estrategias de argumentación colectiva que siguen los estudiantes.

En su valoración siguiendo la rúbrica de la tabla 3.2, del capítulo de Metodología, destinada a la valoración, rigor y maduración del proceso de modelización, se le asigna en el apartado de iniciativa el valor correspondiente a 1b, de 3 puntos, porque expresan en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y coherente, al tener las limitaciones que aportó Sara sin oposición del grupo, pero por lo demás suficientemente comprensible y coherente con el modelo de la ciencia escolar. Además, lo hacen de forma autónoma sin que se produzca la intervención del docente. También se le asigna la puntuación de 3 puntos en la evolución y madurez (2b), por la concordancia que aceptable entre los hechos del aumento de dióxido de carbono y de la temperatura, con la conclusión del aumento del efecto invernadero. No se le da máxima puntuación porque no se consigue la evolución del modelo alternativo que introduce Sara, al identificar el aumento de dióxido de carbono con un incremento de la capa de ozono.

Por tanto, se le otorga al proceso de modelización seguido una puntuación de seis (6) puntos sobre el total máximo que se le puede otorgar de ocho (8) puntos.

4.4.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

4.4.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.4.4 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para conseguir la argumentación de la segunda cuestión. En este coloquio participó todo el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Responden para argumentar sobre si es relevante para la vida un aumento de 3º grados centígrados de temperatura media, que implica diferencias significativas en cuanto a dominio climático, pero que resulta difícil percibir como significativa, puesto que entre la temperatura mínima y la máxima de un mismo día puede haber más de 20º C de diferencia, tal y como ya comentó en el caso 3.

Profesor	<i>¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?</i>	Desafío y Datos	GC-CP
Sheila	<i>Yo creo que 3 grados son muy importantes porque, por ejemplo, no es el mismo vivir aquí, que si aquí aumenta 3 grados es como si viviéramos en Valencia o así. Entonces, esos 3 grados cambiarían...todo a.... los ecosistemas que podrían vivir en cada zona.</i>	Datos, Justificación, Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>De acuerdo, de acuerdo. Entonces en realidad, sí que se dejaría sentir. No es una variación de 3 grados en el tiempo no tiene influencia, pero en el clima si, vale. Esto es la gran diferencia entre lo que es el tiempo y lo que es el clima.</i>	Acuerdo, Conclusión y Respaldo	GC-CP

Figura 4.4.4. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor para responder a la segunda cuestión para la clase de del grupo de humanidades y ciencias sociales.

4.4.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.4.5 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en la en la respuesta a la cuestión 2 construida mediante el coloquio dirigido por el profesor.

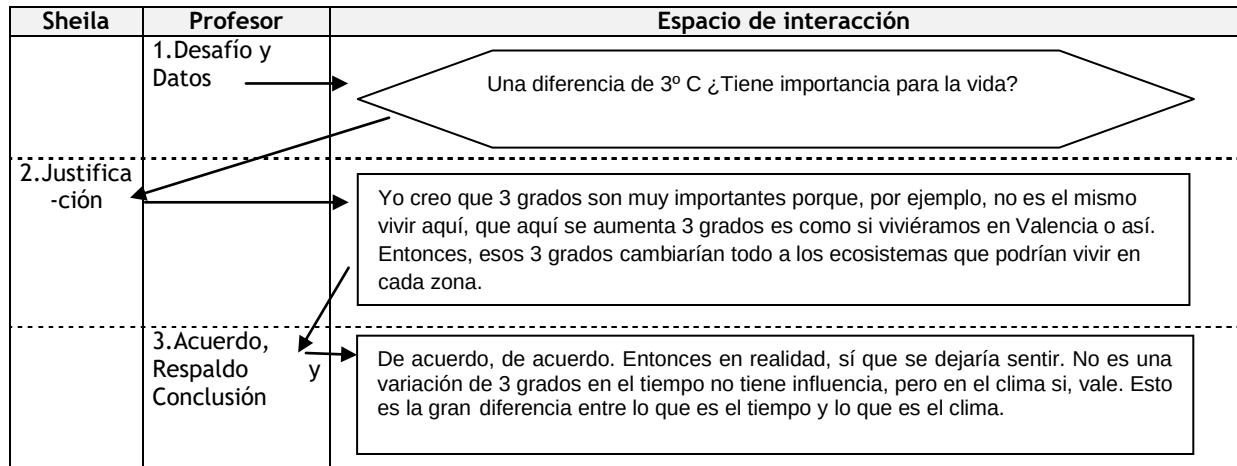


Figura 4.4.5. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el conducida por el profesor del grupo de humanidades y ciencias Sociales.

4.4.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.4.4 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor con el agrupamiento de grupo de clase de la modalidad de ciencias sociales.

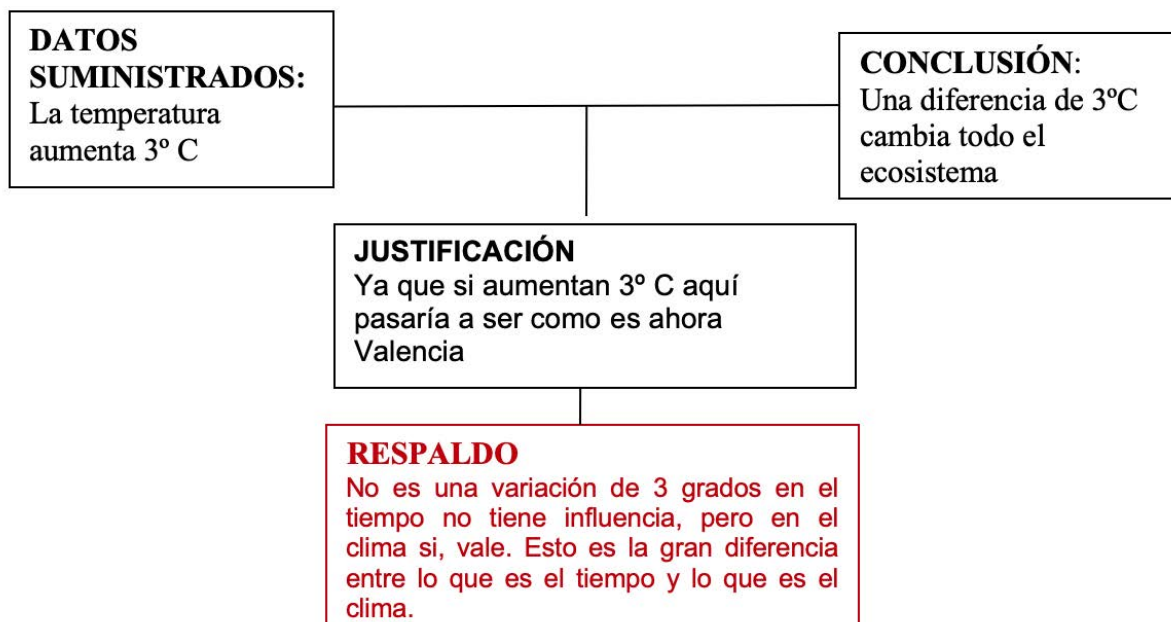


Figura 4.4.6. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales conducida por el profesor (cuadros color de color rojo).

4.4.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

Ante el reto lanzado por el profesor preguntando si una diferencia de 3º C Sheila argumentó en términos científicos globales al concluir cambios relevantes en los ecosistemas, una idea que no se activó en el grupo de la modalidad de ciencias y tecnología. Sorprende que justifica en base al dato de que la diferencia de temperatura que da entre Valencia y Galicia, lo que estaría poniendo el acento en el valor del grado en temperaturas promedio. La precisión a la hora de usar el modelo meteorológico bien ejemplificado disminuyó la necesidad de aportaciones del profesor y cerró prácticamente con su intervención la argumentación.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos se asigna la puntuación máxima (3 puntos) porque los estudiantes (en este caso Sheila) aportan datos empíricos comprobados por la ciencia, como la diferencia de temperatura media entre Galicia y Valencia. En cuanto a la justificación se le otorga también una puntuación de 3 puntos porque expresa una concordancia plena entre ese aumento en términos de temperatura promedio y sus consecuencias sobre los ecosistemas. Se le asigna también 3 puntos en el apartado de conclusiones porque el enunciado explicita con claridad y propiedad de ciencia escolar el modelo coherente de la importancia del aumento de los 3º C.

Por tanto, la valoración global de la calidad de la argumentación es de 9 puntos sobre el total de los 9 puntos que corresponderían a la valoración máxima de ese argumento. Con solo la intervención de Sheila queda construido el argumento con el nivel de calidad máximo que se ambiciona en la rúbrica.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso se observa una secuencia consensuada cuyo patrón se expresa en la figura 3.4 del apartado de Metodología, porque solo un hablante, en este caso Sheila, contribuyó con declaraciones sustantivas a la discusión y otro orador respondió al inicio del discurso sin hacer aportaciones sustantivas.

Analizando el proceso de modelización siguiendo las orientaciones del esquema de la figura 3.10, se observa que este depende de las aportaciones de Sheila. Ella logra expresar un modelo con el rigor que exige su especialidad desde la materia de Geografía, donde la climatología tiene un peso relevante. Utiliza con acierto y propiedad de la diferencia de 3º C para expresar dos climas peninsulares con diferencias de temperaturas medias próximas a ese valor y a favor de Valencia frente a Galicia. No se hace una expresión gráfica explícita, pero a nivel de representación mental implícita para estar en presente en Sheila el paradigma del climograma. Por tanto, el modelo mental de Sheila puede ser compartido con el grupo, como parece que ocurre, porque se entiende que tiene el nivel de coherencia necesario para hacer interpretaciones propias de ese nivel de competencia curricular, motivo por el que se le atribuye el éxito necesario para ser considerado como un modelo válido para su uso en la ciencia escolar.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización, aplicando los criterios y valores expresado en la tabla 3.2 de la metodología para valorar la autonomía, rigor y maduración en el proceso de modelización, se le otorga por el apartado de iniciativa, autonomía y rigor el valor de 4 puntos porque el grupo acepta la expresión de Sheila, sin intervención docente, un modelo explícito claro. Por el apartado de evolución y madurez se le otorga la puntuación de 3 puntos de 2.b porque, aunque solo modeliza Sheila, esta se expresa en términos de una

concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones usando conexiones implícitas con el conocimiento básico. Por tanto, se valora la autonomía, rigor y madurez del proceso de modelización logrado en la respuesta a la pregunta una puntuación de 7 puntos sobre el máximo de 8 puntos que se otorgan siguiendo la rúbrica de la tabla 3.2.

4.4.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

4.4.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3

La figura 4.4.7 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la siguiente cuestión: ¿Las selvas son sumideros de CO₂? en el grupo clase de humanidades y ciencias sociales. Con este desafío se pretende conocer si se consideran o no las selvas sumideros de dióxido de carbono.

Profesor	<i>¿Una selva es un sumidero de CO₂?</i>	Desafío	GC-CP
Sara	<i>No, porque en una selva si los árboles son maduros, el CO₂ que usan es el mismo que el que cogen.</i>	Conclusión y Justificación	GC-CP
Profesor	<i>O sea que...</i>	Desafío	GC-CP
Sara	<i>Que sueltan lo mismo que cogen, o sea que no es un sumidero.</i>	Justificación y Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿Y cómo se llama el proceso ese de producir CO₂?</i>	Desafío	GC-CP
Sara	<i>Fotosíntesis.</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>No. Ese es el proceso de consumo.</i>	Respaldo	GC-CP
Sara	<i>Ah...</i>	Acuerdo	GC-CP
Profesor	<i>Cuando vosotros ahora echáis un vaho sobre la ventana, lo que sale es vapor de agua y CO₂. ¿Cómo se llama eso?</i>		
Sara	<i>Respiración</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Vale</i>	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.4.7. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales conducida por el profesor del grupo.

4.4.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.4.8 se representa en forma de “mapa del discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollados en el discurso del grupo de clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

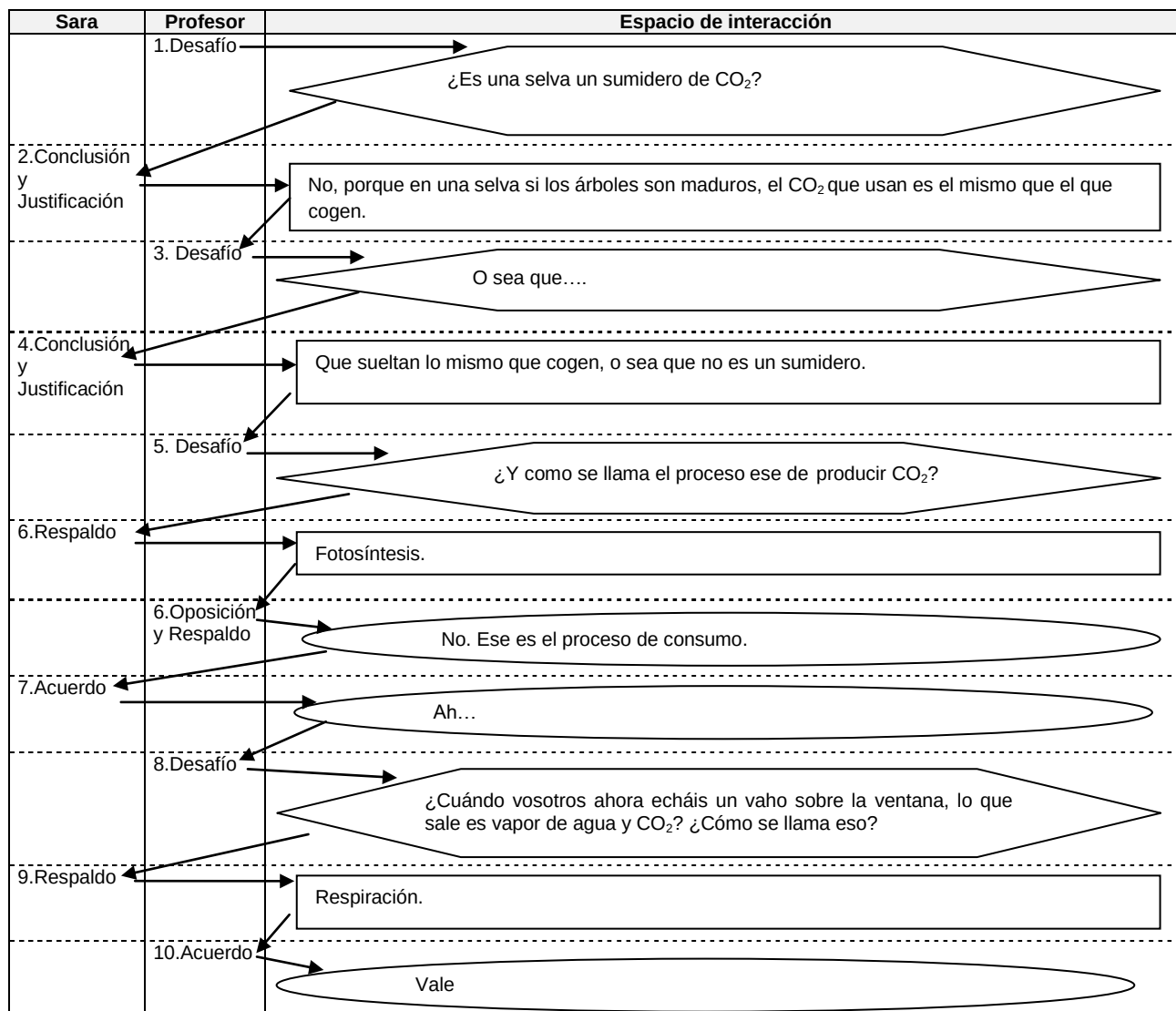


Figura 4.4.8. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales conducida por el profesor

4.4.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.4.9 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº3 y en el que se destacan los elementos aportados por el docente en rojo.

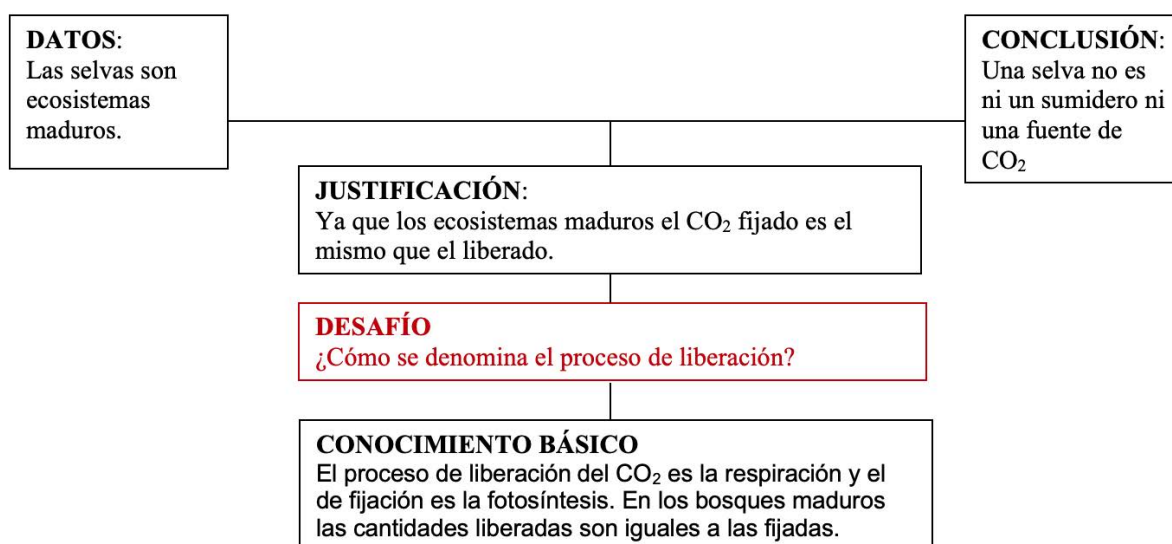


Figura 4.4.9. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

Sara parece manejar desde el principio el concepto selva como una comunidad clímax, lo que parece enunciar de forma implícita en el enunciado de que la selva tiene los árboles son maduros. Aunque este concepto de comunidad clímax no estuviera bien asimilado como representación mental, Sara en su enunciado deja claro que en la selva el dióxido de carbono fijado es la misma cantidad que el liberado, y con eso justifica de forma satisfactoria el hecho de que una selva no sea un sumidero.

En relación con el conocimiento básico, no surgen de forma espontánea los procesos de fotosíntesis y respiración en relación a la fijación y liberación de dióxido de carbono. Por eso el profesor demanda el proceso de liberación, a lo que Sara responde confundiendo los procesos de fotosíntesis y respiración. Parece intuirse una dificultad grande para aplicar en los procesos de fijación y liberación de dióxido de carbono los conceptos de fotosíntesis y respiración, conceptos muy presentes en los currículos de secundaria, ya desde los niveles básicos. Esas dificultades conceptuales pueden estar detrás de las dificultades que presentan estos estudiantes para explicar problemas y cuestiones de carácter biológico en general y ecológico en particular, en los que entran en juego, como en este caso, los conceptos de fotosíntesis y respiración.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología se le otorga 2 puntos por el apartado de hechos porque Sara enuncia datos hipotéticos y genéricos válidos para entender el cambio de rol de los árboles en el equilibrio de sumidero y fuente, tendiendo a un balance cero a medida que la sucesión avanza hacia la comunidad clímax. A la justificación se le otorga también 2 puntos porque existe una concordancia entre esos hechos hipotéticos que Sara enuncia sobre el flujo de carbono con el

balance de fijación y emisión según la edad de los árboles y el avance hacia la comunidad clímax. A la conclusión se le otorga 3 puntos porque Sara concluye que una selva, como bosque maduro, no es ni sumidero ni fuente, por lo que el modelo que sustenta la conclusión tiene coherencia suficiente para la ciencia escolar.

Por tanto, la puntuación del caso es de 7 puntos sobre el total de 9, quedando la calidad de la argumentación con la misma valoración que en el caso homólogo 3.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso resulta correspondiente al patrón consensuada de la figura 3.4 del apartado de Metodología, al igual que en el caso 3, porque es Sara quien hace las contribuciones sustantivas, que al ser centradas en el modelo de la ciencia cierra rápido la argumentación por tener a favor el acuerdo del docente.

En lo que respeta a la valoración del proceso de modelización, siguiendo el esquema de la figura 3.10 del capítulo de Metodología, se identifica que existe un proceso de modelización expresado en el discurso elaborado por Sara, porque hace una interpretación del equilibrio entre fijación y emisión de carbono en los bosques maduros, pudiéndose entender estos como componentes de una selva clímax. Consigue un elevado grado de aceptación del grupo y de acierto en el conocimiento básico aplicado, aunque no se apoya en analogías ni en símiles. El profesor introduce un elemento de modelización interesante cuando pregunta que ocurre cuando se exhala aire de inspiración delante de un cristal muy frío. Sería interesante aquí pedir representaciones de entradas y salidas de C mediante flechas, poniendo diferentes grosores según la cantidad global de C que fluye, y hacerlo sobre árboles juveniles, adultos y viejos. Por tanto, conviene revisar este modelo introduciendo ejemplos e incorporando expresiones gráficas, al igual a lo mencionado sobre esta implicación didáctica en el estudio de caso 3.

En cuanto a la valoración la autonomía, rigor y maduración del proceso de valoración, por el apartado de iniciativa, autonomía y rigor se le otorga los 2 puntos correspondientes a 1c porque expresan un modelo claro, coherente y válido para la ciencia escolar, pero después de recibir la ayuda necesaria del docente. Por el apartado de evolución y madurez se le otorga los 3 puntos correspondientes a 2b porque la concordancia entre hechos y conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas aceptables con el conocimiento básico aplicando correctamente los conceptos de fotosíntesis, respiración o equilibrio entre procesos de sumidero y de fuente. Por eso se le otorga una valoración global de 5 puntos sobre el total máximo de 8 puntos que se pueden conseguir con la aplicación de esta rúbrica.

4.4.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

4.4.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4

La figura 4.4.10 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para argumentar en la respuesta a la cuarta cuestión en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. La cuestión es: ¿cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?

Profesor	<i>¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?</i>	Desafío	GC-CP
Santiago	<i>Pues, por el deshielo, por ejemplo. El efecto invernadero aparte de... de dar calor a la Tierra, provoca el deshielo de tanto de glaciares como de los polos y eso provoca el aumento del nivel del mar.</i>	Datos, Respaldo Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿Cuál es la causa del deshielo?</i>	Desafío	GC-CP
Santiago	<i>El calentamiento de la Tierra.</i>	Dato	GC-CP
Profesor	<i>¿Y la causa del calentamiento de la Tierra?</i>	Desafío	GC-CP
Santiago	<i>Es culpa nuestra.</i>	Dato	GC-CP
Profesor	Bien, o sea que hay muchas causas encadenadas. Es importante relacionar unas con otras.	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.4.10. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.4.11 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 4.

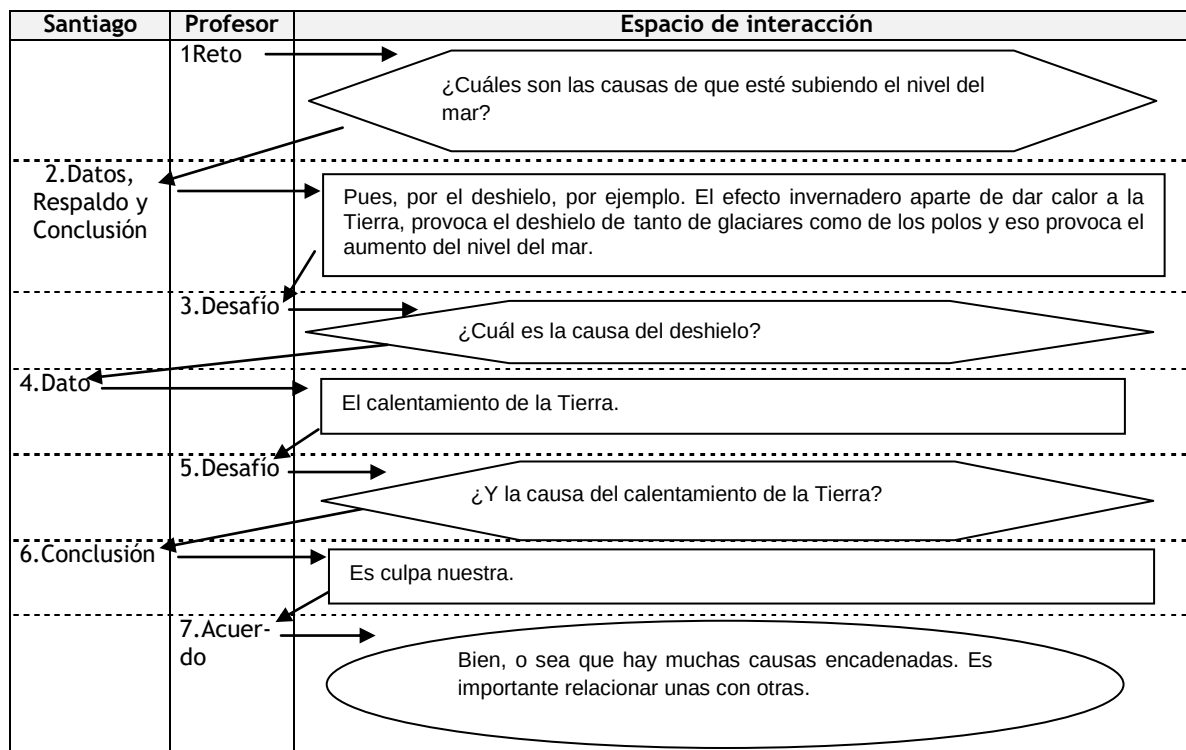


Figura 4.4.11. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales

4.4.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.4.12 se presenta el esquema de Toulmin del argumento construido por el grupo de clase de humanidades y ciencias sociales del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 4.

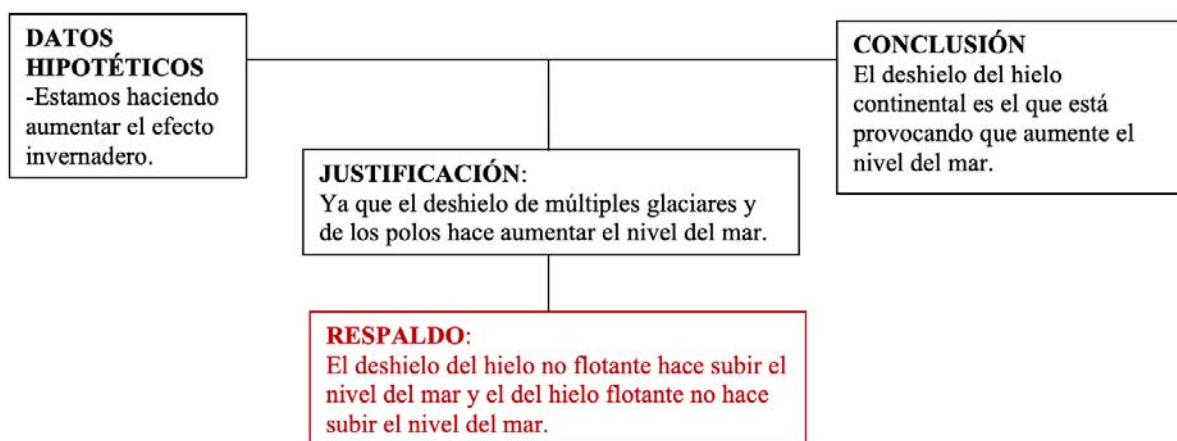


Figura 4.4.12. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en coloquio conducido por el profesor en la clase del grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

En este grupo el discurso relativo a este evento tuvo una extensión mucho menor que la extensa argumentación relativa a las causas del aumento del nivel del mar en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. En ningún momento se menciona que el deshielo que afecta al nivel del mar es el del hielo continental. Engloban el deshielo de los polos en general y de los glaciares como causa de esa subida del nivel mar, y tiene que ser el docente quien les rete para que Santiago diga que se debe al calentamiento de la Tierra.

Al igual que en los eventos correspondientes al discurso para responder a las tres cuestiones anteriores, este grupo cierra rápido la argumentación y por tanto el discurso es más breve. Resulta llamativo que el profesor aquí de por válida la aportación de Santiago cuando dice que la culpa es nuestra, expresando el docente: “(...) o sea que hay muchas causas encadenadas. Es importante relacionar unas con otras”, cuando cabría esperar que fuera interpelando al grupo para que explicitaran esos datos, sobre todo cuando solo intervino Santiago. Tampoco se mencionó la causa de la dilatación térmica en la subida del nivel del mar. Entre esta falta de precisión de la argumentación del alumno y que el docente no puso tanta tenacidad en la formulación de los retos, el discurso se fue apartando de los elementos claves de justificación y respaldo.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos, aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de Metodología, en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación mínima de 2 puntos porque parten de hechos hipotéticos con coherencia interna, si bien no diferencian las diferencias entre el deshielo del hielo flotante del continental. Tampoco se introduce la dilatación térmica. En el apartado de justificación, se le otorga la puntuación de 2b porque se puede aceptar la concordancia entre los hechos y las conclusiones, por tanto, se le otorga 2 puntos. En el apartado de conclusión se le otorga la puntuación de 2 puntos porque se usa un apoyo acertado en la ciencia escolar con coherencia para la ciencia escolar, aunque sin diferenciar los efectos de los dos tipos de deshielo y sin alusiones a la dilatación térmica.

Por tanto, se le otorga a la calidad de la argumentación 6 puntos del total sobre de los 9 puntos, uno menos que en el caso 3.

El mapa del discurso que se representa en la figura 4.4.7 sigue un patrón de secuencia de intervención consensual (Hogan et al., 2000) en la que los estudiantes hacen participaciones encadenadas entre ellos, siguiendo los retos que les formuló el docente y apoyándose en los datos aportados.

En lo relativo al proceso de modelización se observa un evento que contiene un modelo de subida del nivel del mar por deshielo. Se trata de una representación mental que coincide en parte con el modelo científico, que va en la línea de los modelos de la ciencia escolar que son frecuentes en los libros de texto pero que necesitan de revisión para introducir los conceptos del efecto del deshielo continental y de la dilatación térmica. En esta revisión se deben introducir modelos analógicos.

En cuanto a la valoración de la autonomía, rigor y maduración del proceso de modelización, aunque solo sea Santiago, se puede considerar que logra expresar por sí mismo un modelo comprensible pero no suficientemente riguroso, porque no diferencia la

implicación de los dos deshielos y no incorpora la dilatación térmica, factor que como ya se ha comentado en el caso 3, no suele estar mencionarse en la ciencia escolar, a pesar en contribuir en más de un 30% a ese aumento del nivel del mar. Por todo ello se le otorga a puntuación de 1b de la rúbrica de la tabla 3.2. Por eso esta dimensión se valora con 3 puntos. Sobre la evolución y maduración del propio modelo se considera que, aunque en el límite inferior, existe la concordancia entre los hechos y las conclusiones mediante conexiones con el conocimiento. Por lo que se le otorga también 3 puntos.

Por tanto, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.2 del apartado de metodología, se le otorga un total de 6 puntos por el valor de la modelización en cuanto a autonomía, rigor y maduración.

4.4.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

4.4.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5

La figura 4.4.13 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre las relaciones que existen entre el uso del carbón y del petróleo y el aumento de temperatura en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

Profesor	<i>¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?</i>	Desafío	GC-CP
Silvia	<i>Porque al estar de forma sólida debajo de la tierra, sacarlo y quemarlo produce gas, CO₂, que hace que las temperaturas aumenten.</i>	Datos, Justificación y respaldo	GC-CP
Profesor	<i>Bien. Completad esto. Sebastián, cuenta algo y hazlo a tu manera.</i>	Desafío	GC-CP
Sebastián	<i>Que debido a todos los procesos en los que empleamos el carbón y el petróleo lo cambiamos de estado, de estado sólido a gaseoso, y todo ese gas que desprende acaba formando una cantidad de CO₂ considerable.</i>	Respaldo	GC-CP
Profesor	<i>En la atmósfera.</i>	Desafío	GC-CP

Figura 4.4.13. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la respuesta a través del coloquio conducido por el profesor en el grupo de clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.4.14 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado al responder a la quinta cuestión en un coloquio dirigido por el docente.

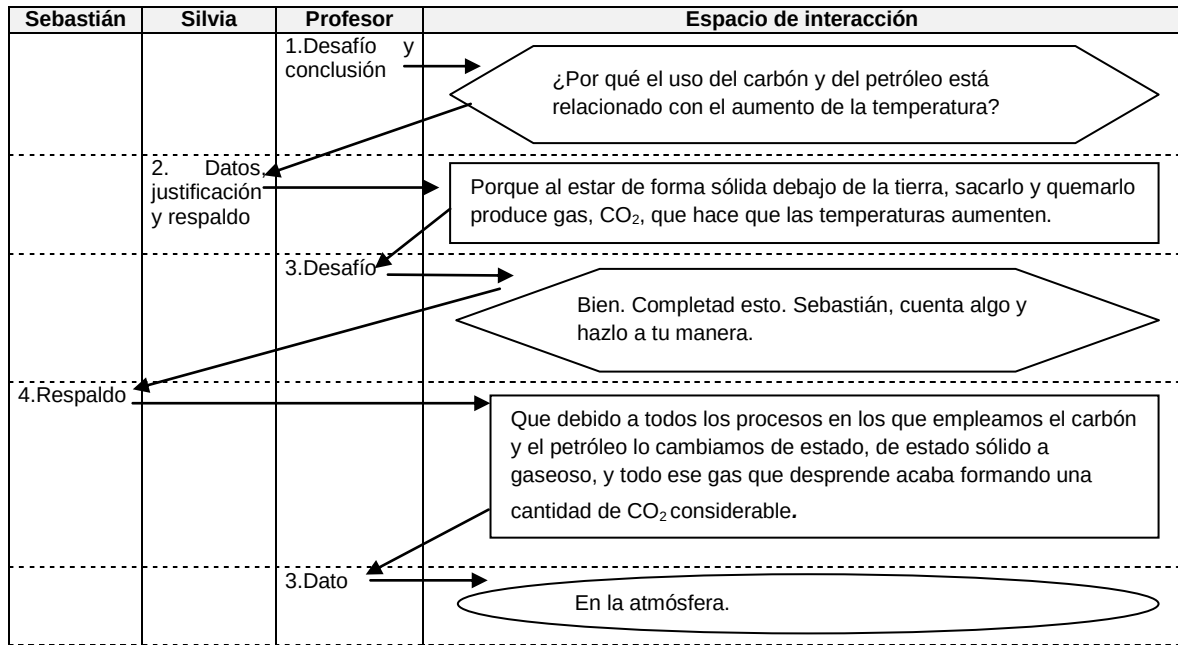


Figura 4.4.14. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido por el docente y en la que participó todo el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para argumentar en la obtención de una respuesta de elaboración colectiva a la quinta cuestión.

4.4.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.4.15 se representa en forma de esquema de Toulmin el argumento desarrollado por el grupo de clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales mediante el discurso obtenido por el coloquio dirigido por el profesor para responder a la quinta cuestión.

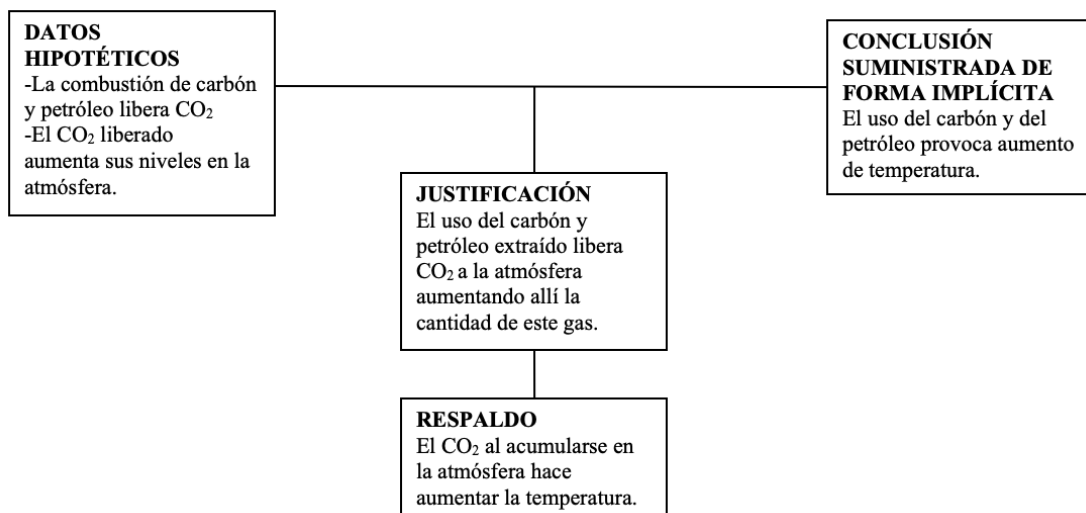


Figura 4.4.15. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en la clase del grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en el que profesor, a través de un coloquio grupal, busca la respuesta a la quinta cuestión.

4.4.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

La intervención de Silvia aporta al discurso elementos clave de la argumentación científica, que ya contiene a nivel implícito la conclusión, y en el que el reto es la justificación y el respaldo, lo que posiblemente motive al profesor para pedir a Sebastián que aporte más elementos al discurso.

Sebastián argumenta en la dirección de enriquecer el discurso aportado por Silvia y en ese sentido se implica aportando conocimiento básico. Sin embargo, al hacerlo no es suficientemente riguroso desde el punto de vista científico, pues asocia el paso del carbón y petróleo a gas dióxido de carbono como un proceso que implica un cambio de estado, que se corresponde con una transformación de naturaleza física; cuando en realidad se trata de un proceso químico de combustión. Posiblemente esto es lo que busca el profesor pidiendo que se amplie el discurso aportado por Silvia.

Aunque este grupo, al inicio del caso se refiere al efecto invernadero, en el discurso correspondiente a la respuesta a esta cuestión no se hace mención, y posiblemente es lo que motiva que el profesor cierre el discurso aportando el dato de que el dióxido de carbono responsable del aumento de la temperatura se acumula en la atmósfera.

Esta interpretación de la formación del dióxido de carbono por un cambio de estado puede tener una explicación en que la mayoría de los estudiantes que eligen la modalidad de humanidades y ciencias sociales no suelen elegir materias de ciencias experimentales desde 3º de la ESO (15 años). Es posible que, debido esa ausencia de conocimientos de química básica, el docente decida no entrar en más profundidades, a pesar de la idea alternativa expresada sobre ese cambio de estado.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la Metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes se apoyan en hechos hipotéticos con coherencia científica, si bien no concreta que la radiación que retiene el dióxido de carbono es la calorífica o infrarroja y explican la producción del dióxido de carbono por un cambio de estado de sólido a líquido que motivan que se le otorgue 2 puntos. También se le otorga 2 puntos por la justificación, pues existe una concordancia aceptable de los hechos con las conclusiones. Por último, se le otorga también 2 puntos porque del enunciado se desprende que el uso del carbón y el petróleo provocan el aumento de temperatura. Por tanto, la valoración global de la calidad de la argumentación queda reflejada en 6 puntos del total de 9 que corresponden a la valoración máxima.

Con respecto a la categorización del mapa del discurso se ubica en la categoría receptiva (Hogan et al., 2000) porque en su desarrollo contribuyen principalmente Silvia y Sebastián, si bien el docente en este tipo de coloquios dirigidos siempre es un participante destacado, y en este caso Sebastián participó por interpelación del docente.

En cuanto al análisis del método de modelización que se hace siguiendo el esquema de flujo de la modelización expresado en el apartado 3.10 de metodología, la respuesta se comporta como un evento en el que se relaciona claramente la combustión del carbón y el petróleo como principales fuentes causantes del cambio climático. Pero no se visualiza una ubicación del problema con la alteración del ciclo del carbono, aquí además aparece la idea alternativa de la emisión de dióxido de carbono por un cambio de estado. La revisión del

proceso de modelización desarrollado es importante, por sus implicaciones didácticas, situar las emisiones en la alternación del ciclo de carbono por la acción antropogénica y abordar también la combustión como cambio químico que hace que el carbono de las moléculas orgánicas se oxide y se libere en forma de gas dióxido de carbono.

En este cambio de las estrategias del docente en la disminución del procesamiento profundo (Pozo et al., 2001), posiblemente influyó la intervención de Silvia que aporta al discurso elementos clave de la argumentación científica correspondiente a esta cuestión, que ya contiene a nivel implícito la conclusión, y en el resto del enunciado contiene la justificación y el respaldo. El conocimiento básico no incluyó el concepto de combustión, y eso posiblemente motivó al profesor a pedir a Sebastián que le diera una formulación más rigurosa.

Sebastián argumenta en la dirección de enriquecer el discurso aportado por Silvia, y en ese sentido se implica aportando conocimiento básico. Sin embargo, al hacerlo no es suficientemente riguroso desde el punto de vista científico. Reitera de nuevo el paso del carbón y petróleo a gas dióxido de carbono, pero lo hace como un proceso que implica un cambio de estado. Por tanto, usa para la combustión una idea alternativa que supone la aplicación de una representación mental de cambio de estado para explicar las emisiones de dióxido de carbono en las combustiones. Posiblemente el docente echó en falta el concepto de combustión en lo que expresó Silvia, lo que pudo motivar al profesor a pedir a Sebastián su implicación en la construcción del discurso, porque de la forma en la que se dirige a él, parece intuirse la confianza del docente en la capacidad de argumentación de Sebastián. Quizás la idea alternativa expresada por Sebastián generó en el docente una cierta frustración, pudiendo entender que el nivel de competencia curricular de los estudiantes de esa modalidad estaba distante de la representación mental del cambio químico, lo que lo pudo impulsar a cerrar la argumentación aportando conocimiento básico que entendió asequible para ese grupo. Ese cierre podría explicar el hecho de que, aunque este grupo se refiere al efecto invernadero con más certeza y propiedad que la respuesta a la misma pregunta en el coloquio del grupo científico tecnológico, el docente cierra la argumentación aportando la reflexión de que dióxido de carbono, responsable del aumento de la temperatura, se acumula en la atmósfera, algo que no parecía estar ausente en las representaciones mentales expresadas.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización mediante la rúbrica de la tabla 3.2 de la Metodología, por la iniciativa, autonomía y rigor se le asigna la puntuación de 1b, pues expresan un argumento del modelo que no es suficientemente claro y riguroso, pero comprensible por aproximaciones al modelo de ciencia escolar. Aunque el docente interviene, sus aportaciones no restaron al grupo iniciativa ni aportó nada destacado en términos de modelización. Por eso en esta primera parte se le otorga 3 puntos. Por el grado de evolución y madurez se le asigna la puntuación de 2 puntos porque la expresión del cambio de estado lo deja sin la consistencia suficiente para ser adoptada por la ciencia escolar. Queda así valorado con 5 puntos del máximo de 8 que se otorgan por las dos partes de la rúbrica expresada en la tabla 3.2.

4.4.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

4.4.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6

La figura 4.4.16 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre si el carbón y el petróleo son recursos renovables en la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

Profesor	<i>¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables? Sonia</i>	Desafío	GC-CP
Sonia	<i>Pues no sé</i>		GC-CP
Profesor	<i>Pues tú imagina, ¿tú sabes lo que es renovar tu vestuario cuando llega cada primavera, por ejemplo? ¿Sabes por lo que se le llaman entonces recursos no renovables?</i>	Desafío	GC-CP
Sonia	<i>Porque no se vuelven a crear.</i>	Justificación	GC-CP
Profesor	<i>No se vuelven a crear. ¿Alguien aporta algo más, más elaborado?</i>	Desafío	GC-CP
Santiago	<i>Que llevan debajo de la tierra muchos millones de años... y para formarse tardaron muchos millones de años y en algún momento se van a acabar.</i>	Respaldo y Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿Y cuándo se acaben no se pueden formar otra vez?, dentro de... 5 o 6 años, ¿Volverá a tener petróleo?</i>	Datos y Desafío	GC-CP
Santiago	<i>No porque el proceso de hacer eso tarda millones de años.</i>	Datos, Respaldo y Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Millones de años, de acuerdo, de acuerdo. ¿Por eso hablamos tanto de energías renovables, también?</i>	Desafío	GC-CP
Santiago	<i>También.</i>	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.4.16. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido por el docente en el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.4.17 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso por el grupo clase en coloquio dirigido por el profesor.

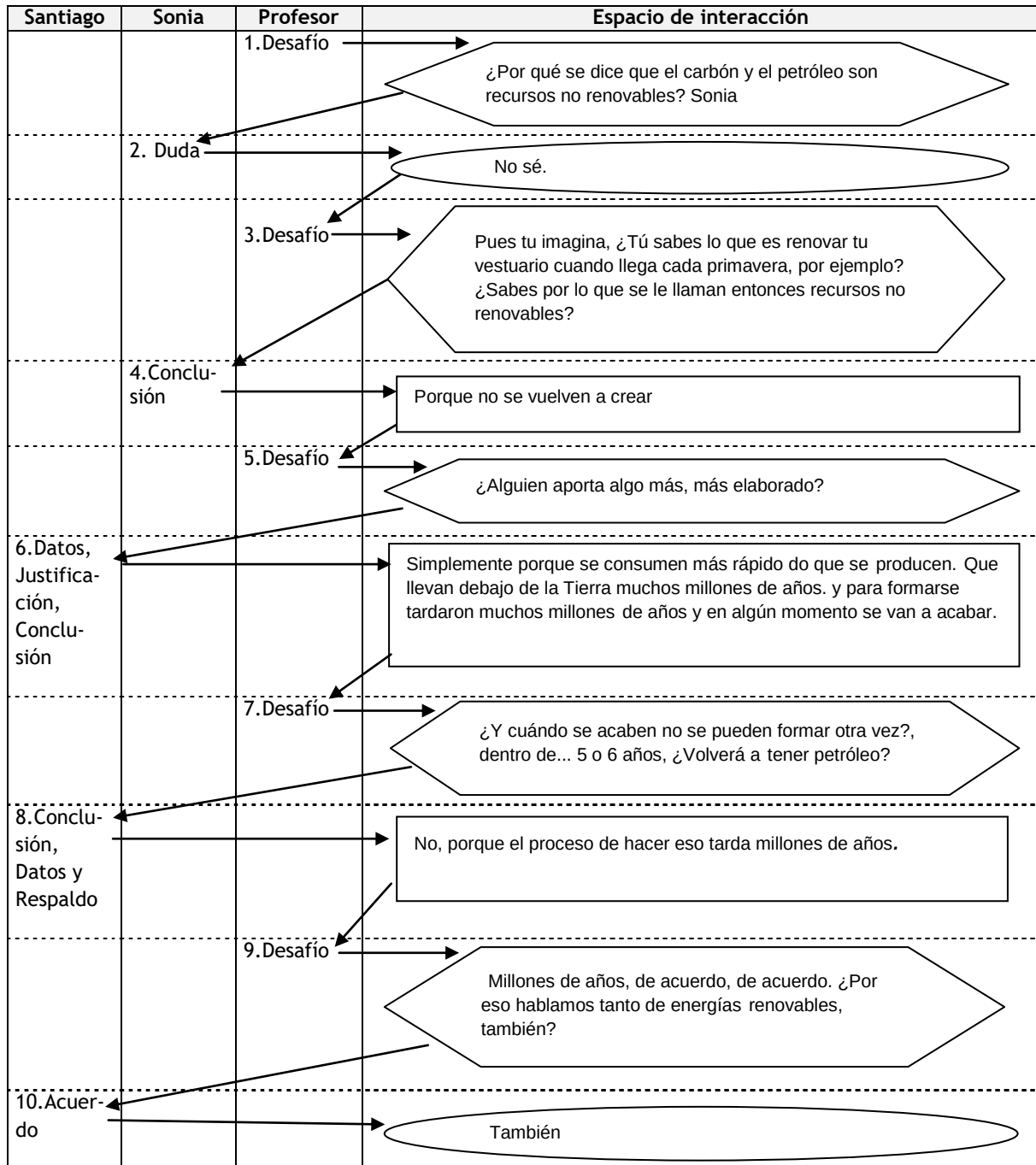


Figura 4.4.17. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido por el profesor en el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.4.18 se representa el esquema de Toulmin del argumento desarrollado por el grupo de clase para dar respuesta a la sexta cuestión mediante el discurso obtenido por el coloquio dirigido por el profesor.

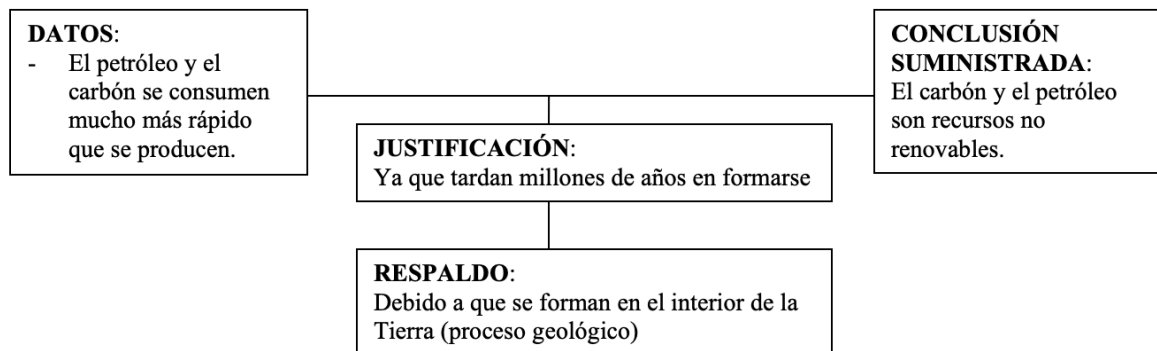


Figura 4.4.18. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido a la totalidad del grupo clase de humanidades y ciencias sociales conducido por el profesor.

4.4.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

La argumentación relativa a la no sostenibilidad del uso del carbón y del petróleo muestra dificultades en el proceso de modelización. La dificultad parece estar en la distancia de este conocimiento básico de la estructura cognitiva de estos estudiantes, y eso obliga al profesor a apoyarse en una analogía de la vida cotidiana, como es la renovación del vestuario, para que Sonia haga una primera aproximación al concepto. La diferencia entre los dos grupos en la capacidad para argumentar sobre esta cuestión bien puede estar en que los estudiantes que eligen en primero de Bachillerato la modalidad de ciencias sociales no suelen elegir Biología y Geología en 4º de la ESO y esta materia no es modal de esa modalidad de primer curso de Bachillerato.

Santiago parece estar más próximo al conocimiento básico en la medida que sitúa la diferencia de escala haciendo mención al tiempo geológico para la formación de petróleo y carbón. Pero en este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales no se incorpora ningún conocimiento básico sobre los procesos de formación del carbón y del petróleo.

Resulta llamativo que el docente renuncie a aproximar a los estudiantes más al conocimiento básico y a indagar sobre su presencia de los conocimientos científicos relativos a la sostenibilidad. En ese sentido parece asumir que a estos estudiantes de ciencias sociales no les corresponde este reto de comprensión del proceso geológico de formación de estos recursos fósiles, como ya se comentó en el comentario relativo a análisis de respuestas a cuestiones anteriores.

En relación a la evaluación de calidad del discurso, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 1 punto porque los hechos no explicitan con claridad el conocimiento científico. A la justificación también se le otorga 2 puntos porque establecen una concordancia aceptable al asociarse al establecer la relación entre la conclusión y las

diferencias de tiempo entre la formación y el consumo. También la conclusión es merecedora de los 2 puntos porque la conclusión encierra un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento, al expresar las claves de la no renovabilidad de estos recursos. Por eso la puntuación global que se le otorga al argumento es de 6 puntos sobre un total de 9 puntos.

En cuanto a la categorización del mapa de discurso obtenido este se corresponde con la representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría receptiva cuando en el caso 3 el docente logró una colaborativa (Hogan et al, 2000). En este caso hicieron contribuciones sustantivas Sonia y Santiago.

En lo que respecta al análisis de la modelización, no se identifica un proceso significativo de modelización porque no se explicita con claridad un proceso geológico de formación petróleo y del carbón ni se entra en las formas aceleradas actuales de consumo.

4.4.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

4.4.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7

La figura 4.4.19 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre el efecto del cambio climático sobre los bosques en la respuesta a la séptima cuestión formulada por el profesor en el coloquio en el que participó la totalidad del grupo de clase.

Profesor	<i>¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?</i>	Desafío	GC-CP
Selena	<i>Que en zonas cálidas se pueden producir muchos incendios.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>A ver... elabora un poco más eso... ¿Por qué?, ¿Cómo? ¿Qué implica eso?</i>	Desafío	GC-CP
Sandra	<i>Que se desprende más CO₂ al quemarse porque con la fotosíntesis y después al respirar, también sueltan CO₂ y si se quema pues estás quemando el CO₂.</i>	Datos y Justificación	GC-CP
Profesor	<i>¿Estás quemando o estás produciendo?</i>	Desafío	GC-CP
Sandra	<i>Produciendo.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿Alguien que sea capaz de relacionar todo esto y lo que implica eso? Lo que implica el cambio climático sobre los bosques y, a su vez, a que nos lleva esto. Sol, ¿se te ocurre algo? O sea que un bosque se quema y va a producir aumento del cambio climático, o que se mantenga estable, ¿tú qué crees?</i>	Desafío y Calificador modal	GC-CP
Sol	<i>Pues que aumenta el cambio climático porque va a la atmósfera.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Sandra dice: se quema y se produce más CO₂. Sol dice: ese CO₂ va a la atmósfera. Bien, ese CO₂ ¿qué hace en la atmósfera?, ¿Sofía?, ¿Qué provoca en la atmósfera más CO₂?</i>	Datos y Desafío	GC-CP

Sofía	<i>Pues que hay más contaminación.</i>	Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>¿A qué le llamas eso de contaminación? Estamos hablando de efectos sobre temperaturas.</i>	Desafío	GC-CP
Sofía	<i>Eso depende de qué los árboles sean más nuevos o más...</i>	Calificador modal	GC-CP
Profesor	<i>A ver, alguien que me aclare... Sergio, ¿tú eres capaz de aclararme?</i>		GC-CP
Sergio	<i>Esta cuestión habría que verla desde varios puntos de vista.</i>	Calificador modal	GC-CP
Profesor	<i>Pues dime.</i>	Desafío	GC-CP
Sergio	<i>Primero que el plano general es que el aumento de CO₂ va a aumentar el efecto invernadero sobre la Tierra, eso va a provocar un aumento de temperaturas que va a haber más riesgo de incendios y, por otra parte, seguramente haya más sequías, más temporadas secas, con lo que el caudal de los ríos será más pequeño y los montes tendrán menos...</i>	Datos, Justificación, Respaldo, Calificador modal	GC-CP
Profesor	<i>Vegetación.</i>	Dato	GC-CP
Sergio	<i>Humedad, que supongo que influirá bastante también. Al haber más sequías el período entre lluvias será más largo, más inundaciones también con lo que provocará riadas...eh... no me sale a palabra ahora... ¿Las riadas cuando van por el monte?</i>	Dato, Calificador modal. Respaldo y Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>Bueno, pero está muy bien.</i>	Acuerdo	GC-CP

Figura 4.4.19. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido por el docente para el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.4.20 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del coloquio conducido por el docente para el grupo clase en el que participan cuatro miembros en la argumentación que da respuesta a la cuestión 7.

Sergio	Sofía	Sol	Sandra	Selena	Profesor	Espacio de interacción
					1.Desafío	¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?
				2.Conclusión		Que en zonas cálidas se pueden producir muchos incendios.
					3.Desafío	A ver... elabora un poco más eso... ¿Por qué?, ¿Cómo? ¿Qué implica eso?
			4.Justificación			Que se desprende más CO ₂ al quemarse porque con la fotosíntesis y después al respirar, también sueltan CO ₂ y si se quema pues estás quemando el CO ₂
					5.Desafío	¿Estás quemando o estás produciendo?
			6.Conclusión			Produciendo.
					7. Desafío y calificador modal	¿Alguien que sea capaz de relacionar todo esto y lo que implica eso? Lo que implica el cambio climático sobre los bosques y, a su vez, a que nos lleva esto. Sol, ¿se te ocurre algo? O sea que un bosque se quema y va a producir aumento del cambio climático, o que se mantenga estable, ¿tú qué crees? ¿lugares donde había más temperatura? Me refiero a que (...) tienen que aparecer a partir de otros lugares donde se daban antes estas circunstancias que ahora se están dando aquí. ¿Como va a afectar el cambio climático a la relación humedad-aridez?
		8.Conclusión				Pues que aumenta el cambio climático.

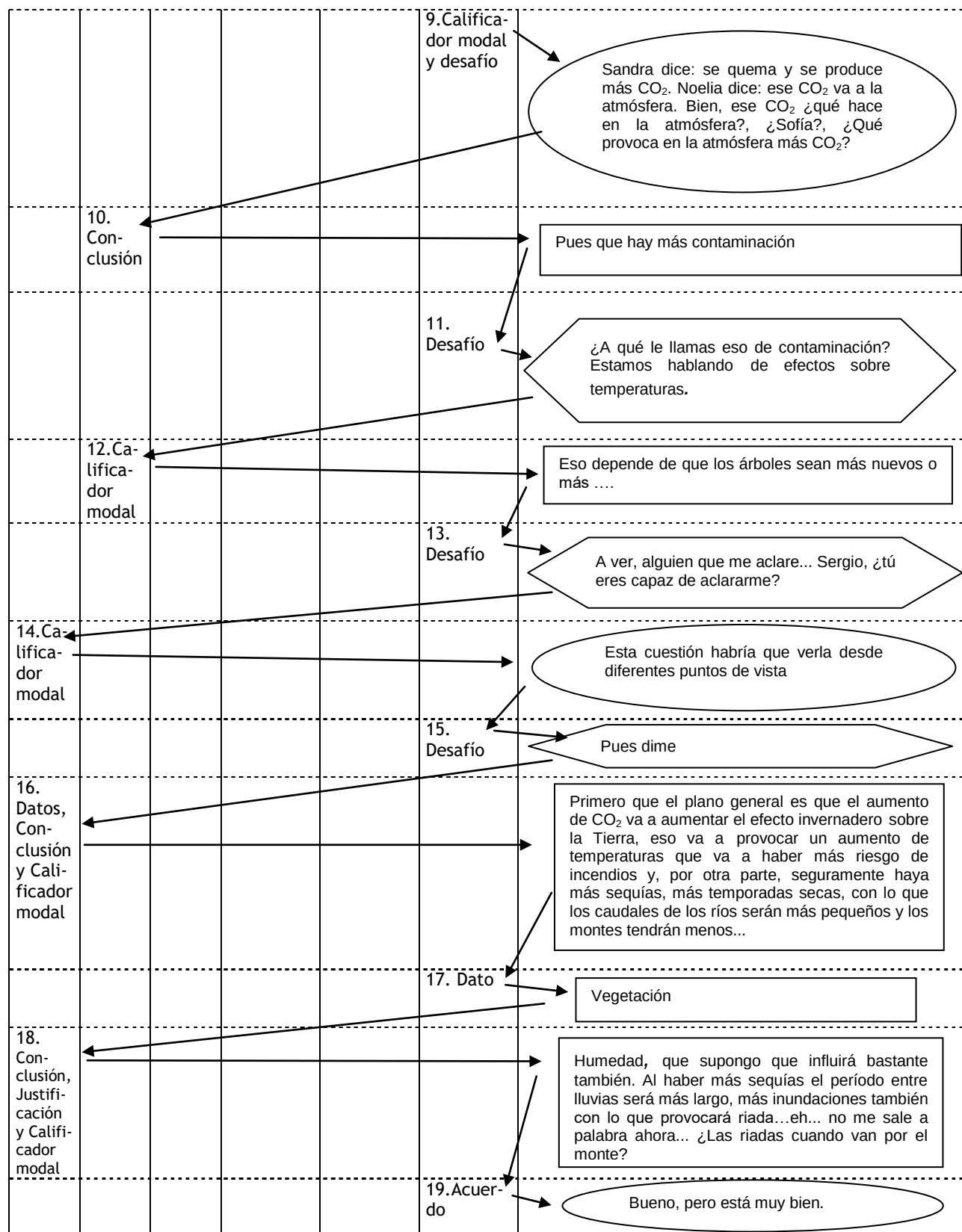


Figura 4.4.20. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el coloquio dirigido por el profesor en el grupo de humanidades y ciencias sociales.

4.4.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.4.21 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 7 en el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

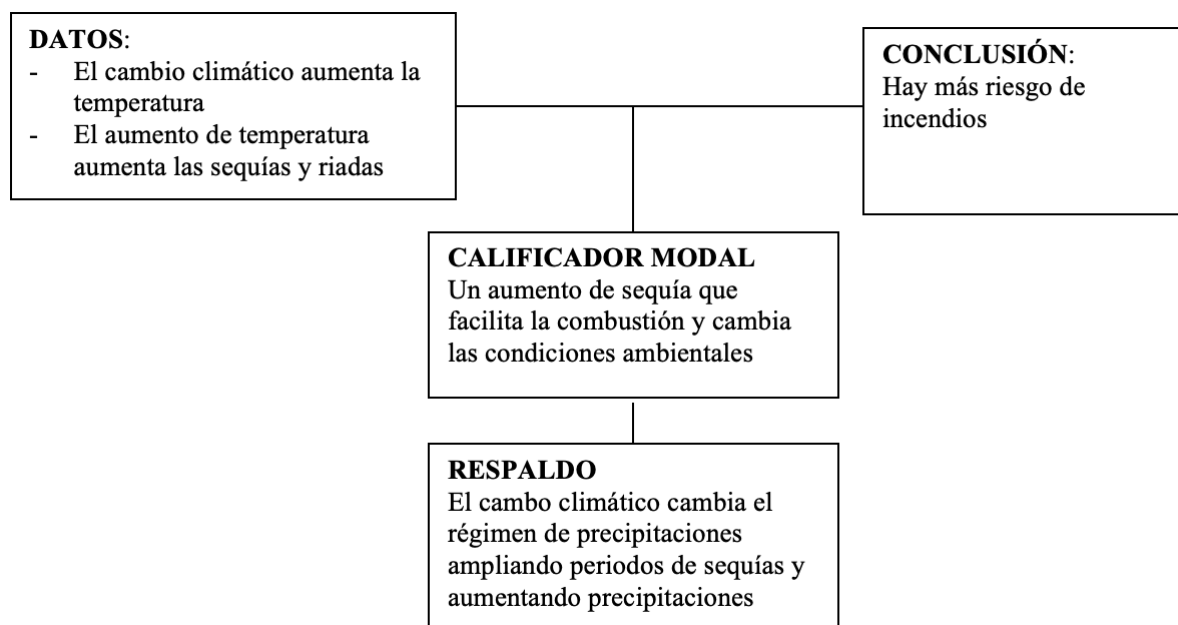


Figura 4.4.21 Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la clase de humanidades y ciencias sociales conducida por el profesor.

4.4.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

En este cuarto caso del coloquio dirigido por el profesor con el grupo clase de la modalidad de ciencias sociales, la alumna Selena inicia el discurso relacionando el cambio climático con el aumento de incendios debido al aumento de la temperatura. Aunque el enunciado de Selena como conclusión, quedó sin una clara justificación y también sin un respaldo ni ningún otro elemento de apoyo en el argumento.

El profesor parece que demanda los elementos que faltan en la argumentación de Selena, cuando busca la introducción del dióxido de carbono en el discurso. Eso conduce la argumentación hacia la incorporación de un respaldo de conocimiento básico. El inicio de Selena situando las consecuencias del cambio climático en los bosques parece que despertó buenas expectativas en el profesor para avanzar en su estrategia de argumentación. Por eso reta al grupo obteniendo una incoherencia en el turno siguiente, correspondiente a Sandra, quien expresa que al quemarse los bosques desprende más CO₂ porque se libera CO₂ tanto en la fotosíntesis y después al respirar, apareciendo así la idea alternativa de que la fotosíntesis libera dióxido de carbono. En la misma intervención aparece otra incoherencia que si se quema el bosque se “*está quemando el CO₂*” que parece que expresa como sinónimo a la

combustión con la liberación de dióxido de carbono. Esta idea alternativa de que la fotosíntesis libera dióxido de carbono implica no poder explicar el papel de la fotosíntesis en la fijación del dióxido de carbono, y por tanto no pueden interpretar el potencial de los bosques para mitigar el cambio climático.

Los impactos los relacionan, igual que en el tercer caso, con el aumento de la sequía debido al cambio climático, que también aquí relacionan esos períodos de deficiente humedad con el aumento de los incendios. Aquí parece que Sandra expresa los incendios como fuente de dióxido de carbono que podría aumentar el problema. Aunque aquí a nivel explícito no se visualiza en el discurso la relación de los incendios con la erosión, a nivel implícito parece que Sergio está expresando esa relación cuando enuncia cuando dice: “(...) *con lo que provocará riadas...eh...no me sale la palabra ahora... ¿Las riadas cuando van por el monte?*” Sergio parece que, a nivel implícito al final de su enunciado busca expresar las implicaciones del aumento de inundaciones debido al cambio climático con la superficie forestal. Parece que cuando dice “*las riadas van por el monte*” quiere expresar que los incendios facilitan que, con las lluvias intensas, se erosione el suelo de los montes quemados.

Sergio expresa que el aumento de CO₂ va a aumentar el efecto invernadero sobre la Tierra, provocando mayores temperaturas y más sequías. Aparecen así datos vinculados a las conclusiones con justificaciones. En las intervenciones que aporta a la estrategia de argumentación seguida en la respuesta a la pregunta parece que quedaron carentes varios aspectos y elementos débiles comentados hasta aquí, pero sin embargo la estructura de su argumentación es coherente y enriquecedora para el proceso de modelización.

La argumentación en este grupo es más débil que la del tercer caso en relación al papel que pueden tener los bosques juveniles o las plantaciones forestales sobre la mitigación del cambio climático, como sumidero de dióxido de carbono, aunque puede intuirse de alguna forma en el enunciado de Sofía cuando dijo “*Eso depende de que los árboles sean más nuevos o más...*”. Una línea argumental que corta el docente, posiblemente porque Sofía no está respondiendo al desafío que le formula de que explicita qué entiende por contaminación. Es posible que el docente, ante las incoherencias y confusiones que detecta en el argumento de Sofía, se impacienta y pierde la oportunidad de orientar la estrategia de argumentación hacia la evaluación de la modelización en esa dirección.

La estrategia que usa Sergio es explícitamente valorada por el profesor, y aunque quedaron bastantes deficiencias en el conjunto del discurso, el profesor expresa su satisfacción con esta aportación de Sergio y da por concluido en el discurso.

Tanto las representaciones del flujo del discurso (Hogan et al., 2000) como el esquema de Toulmin (1958), evidencian que la argumentación conseguida hasta aquí resultó ser completa y en varios aspectos muestra más fortalezas que la desarrollada sobre la respuesta a la misma cuestión por el grupo de ciencias y tecnología. Aquí la pérdida de humedad con sus efectos sobre la vegetación se hizo explícita sin la necesidad de que participara el profesor para conseguirlo. Además, las estrategias de argumentación desarrolladas dieron pie a introducir elementos metacognitivos, especialmente aportados por el docente, que le han dado valor al proceso de modelización desarrollado.

En relación con la evaluación de calidad de la argumentación, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 2 puntos. Como pasó en el caso 3 en ningún momento se hacen propuestas

que contemplen los riesgos de introducción de especies invasoras como plagas. Se le otorga la puntuación de 2 puntos en el apartado de justificación, porque a pesar de haber una concordancia aceptable de los hechos con las conclusiones al vincular los incendios con las sequías, queda a nivel implícito y no claramente identificable los efectos derivados de los incendios en la erosión. En el apartado de conclusiones se le otorga la puntuación de 3 puntos porque en general el enunciado de Sergio explicita con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar el modelo científico coherente.

Por tanto, el argumento queda valorado en 7 puntos sobre un total de 9, lo que significa para esta cuestión una puntuación superior en 1 punto a la alcanzada en el caso 3.

En cuanto al patrón que sigue el flujo del discurso, este se ubica con bastante claridad en la categoría colaborativa (Hogan et al., 2000), mientras que el caso 3 era receptiva. Aquí aportan declaraciones sustantivas un total de seis miembros.

En relación al proceso de modelización, se cumple con claridad el paso uno del esquema de la figura 3.10 de la Metodología el proceso de modelización requiere de una revisión que permita introducir los efectos erosivos de los incendios y los impactos de las especies vegetales invasoras en el equilibrio del ecosistema y en su biodiversidad, así como en la proliferación de incendios en el contexto de continuidad del cambio climático.

Con respecto a la valoración del proceso de modelización mediante la rúbrica de la tabla 3.2 se le otorga la puntuación de 2 puntos por la autonomía, porque el docente tuvo que hacer aportaciones metacognitivas que permitieron dejar un modelo claro, coherente y válido para la ciencia escolar. Por la segunda parte, la relativa a la evolución y grado de maduración se le hace corresponder la valoración expresada en 2b por cuanto que hay una concordancia aceptable entre hechos y conclusiones en el que media el conocimiento básico. Por tanto, se le asigna un total de 5 puntos sobre el total de 8 que se otorgan mediante la aplicación de esta rúbrica.

4.4.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión (el docente saltó la octava por falta de tiempo)

4.4.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9

La figura 4.4.22 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor con el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para indagar sobre si se relacionan el deshielo de hielo continental de Groenlandia con efectos del cambio climático en las costas de Galicia y, por tanto, en la población costera en la que viven los estudiantes. Se abordó esta cuestión saltando la octava, que tiene relaciones directas con esta, porque el profesor en su conducción vio que no le daba tiempo abordar todas las cuestiones y seleccionó esta.

Profesor	<i>En Groenlandia, que aumente la temperatura, ¿cómo puede afectar o que puede ocurrir en Galicia?</i>	Desafío	GC-CP
Sergio	<i>El otro día vi un documental que trataba sobre ese tema eh.... se rien todos porque siempre digo eso de los documentales.</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>No, no. Ayer pusieron un documental muy interesante sobre el cambio climático, la verdad es que, "bueno", en los medios de</i>	Desafío	

	<i>comunicación también se aprende mucho. Entonces cuenta aquí, cuéntenos como fue lo que viste.</i>		GC-CP
Sergio	<i>Pues...era un documental, me parece en el que explicaban la influencia de la corriente del Golfo en las temperaturas de Europa, en la temperatura del agua y en el clima europeo. Entonces esto funcionaba de la siguiente manera: venía una corriente del Caribe, que traía aguas calientes, que venía más o menos pasando por las costas de Galicia, Francia, Inglaterra y hasta Noruega, más o menos, con que aquí hay un clima más suave que en Norteamérica y después esa agua volvía de la misma forma, pero fría, volvía caliente otra vez...era una cadena. El problema (es que), esta pregunta es sobre Groenlandia.</i>	Datos	GC-CP
Profesor	<i>Groenlandia, si</i>	Datos	GC-CP
Sergio	<i>Si, el problema está en que si se descongela.... Si se descongela todo el hielo que hay en Groenlandia, o la mayor parte, eso va a provocar...eh... un aumento del agua dulce en el océano Atlántico y esa agua se verterá por el transcurso de la corriente del Golfo, y que provocaría unas perturbaciones en esa corriente, con que podría dejar de... funcionar. Esto quiere decir, un cambio de temperaturas en Europa y del clima hacia más frío e incluso hablaban de que podía traer una segunda glaciación. O sea, que el cambio climático que ahora decimos que nos está calentando tanto, podría después en un futuro dar la vuelta imprevisiblemente, que ahora no cree nadie eso, poca gente piensa en esa posibilidad de volver a una glaciación, que es lo contrario de lo que está pasando a corto plazo.</i>	Datos, Justificación, Respaldo, Calificador modal y Conclusión	GC-CP
Profesor	<i>En realidad, la gente ve ideas simplistas. Vosotros sois gente privilegiada porque tenéis conocimiento, vale, tenéis conocimiento y el conocimiento lleva a que las cosas no son así de simples. Más CO₂ en la atmósfera, no significa más calor y climas más cálidos en todo el Mundo y lleva camino de que en ciertos lugares se produzca una glaciación, en la cual nosotros estamos próximos, vale. Sobre todo, se habla de ese hemisferio norte de cambiar las corrientes oceánicas. Las corrientes oceánicas cambian cuando hay cambios de temperatura en el mar, el agua más fría más densa, o cuando hay cambios de salinidad. Esos cambios de salinidad cuando el hielo, agua dulce, la llevamos al mar, pues (provoca) ese tipo de cambios.</i>	Datos, Justificación, Respaldo, Calificador modal y Conclusión	GC-CP

Figura 4.4.22. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor con el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.4.23 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 9 en el coloquio conducido por el profesor y dirigido al grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

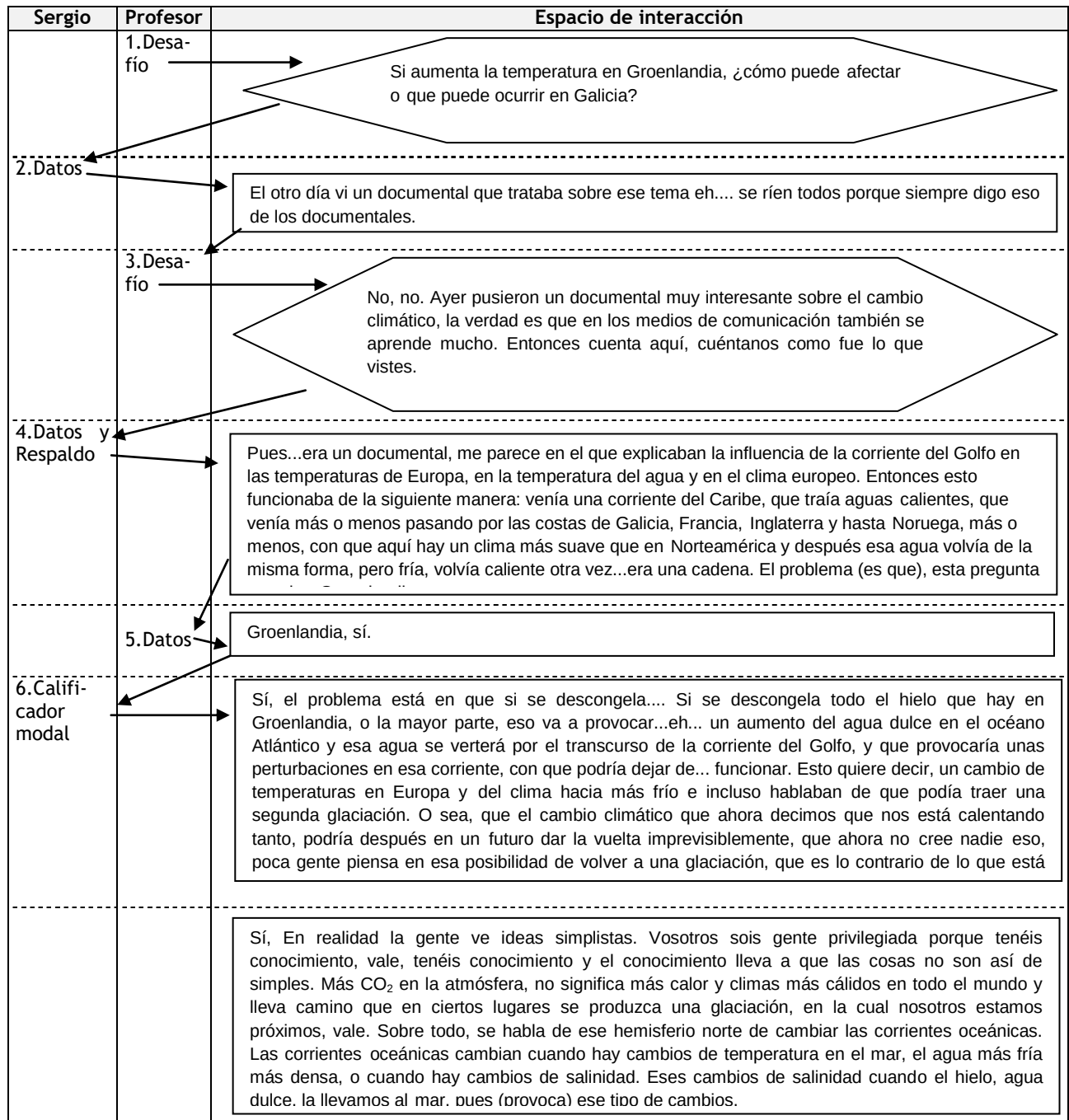


Figura 4.4.23. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor en la clase del a modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.4.24 se representa, en forma de “mapa de discurso”, el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollados en el discurso del grupo clase de humanidades y ciencias sociales durante el coloquio dirigido por el profesor para argumentar la respuesta a la cuestión 9.

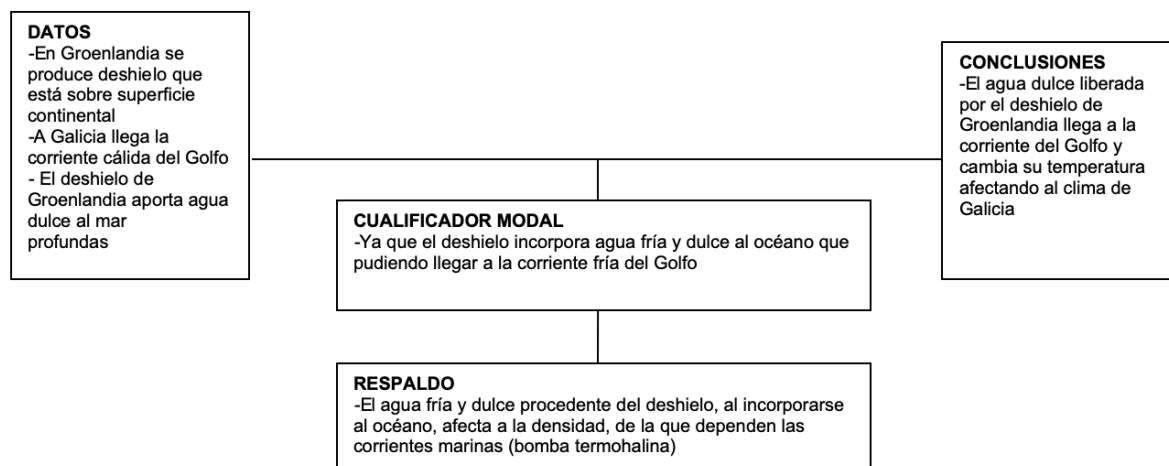


Figura 4.4.24. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el coloquio conducido por el profesor y destinado al grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

4.4.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión

Sergio sorprendió al grupo con la fuente de datos referente para esta argumentación, pues no se refiere a los datos contenidos en la exposición, sino que se centra en el contenido de un documental sobre los efectos del cambio climático sobre la corriente del Golfo. Sorprende la capacidad para interpretar lo expresado en un documental que vio el día anterior sobre cambio climático y en el que se abordaba el riesgo de una glaciación en estas latitudes derivado por el cese de la cinta transportadora de la corriente termohalina. Posiblemente sus conocimientos e intereses por la geografía universal le ayudaron, pero a lo largo de todo el coloquio sorprendió la madurez de las capacidades de argumentación de este estudiante.

Por tanto, los datos y el respaldo de la argumentación se centraron en el contenido del vídeo. El discurso parece que evidencia que en principio la corriente del Golfo es un hilo conductor para relacionar costas de regiones del Atlántico muy distantes, y sobre todo y que funciona regulando sus climas. En esta relación de datos con conclusiones parece ser determinante el conocimiento básico expuesto en el vídeo. Parece que a Sergio le impactó el dato, expresado por el documental, de que la ausencia de estas corrientes en las costas, en las que suaviza el clima, podría generar una glaciación en ellas, difícil de admitir, al tener como su origen en impactos debidos al cambio climático.

El problema no solo tiene la dificultad de partir impactos distantes, sino que tiene la dificultad añadida de traer a lo local, en este caso Galicia, efectos de impactos en otras regiones distantes, en la línea didáctica transversal que exige el estudio del cambio climático,

de atravesar bidireccionalmente las barreras entre lo local y lo global. Sin embargo, estos datos se emiten como hipotéticos bajo el marco argumentativo expresado en la categoría de Toulmin de Calificador modal, y Sergio no hace mención a que la glaciación en estas regiones ya se produjo como consecuencia del aumento de la temperatura global derivada de la salida de la última glaciación, hace unos 10.000 años, cuando se derritió la última capa glacial de América del Norte, que originó un gigantesco lago de agua dulce, de lo que queda los actuales Grandes Lagos. En aquella época esa agua dulce se precipitó hacia el Atlántico Norte, provocando que la corriente del Golfo casi dejara de fluir, con lo que Europa occidental dejó de recibir el calor transportado por la evaporación del agua cálida de esta corriente a su paso a través del Atlántico Norte (Gore et al., 2008).

El desarrollo de la construcción del discurso elaborado por Sergio da la impresión de que el alumno asoció esos datos y respaldos con el problema, y aunque en un principio parece que solo se refirió a ellos recordando que podrían contener de forma implícita alguna relación, al reflexionar sobre la formulación del problema, parece que fue cuando pudo relacionar el deshielo de Groenlandia con el problema.

El profesor pone en valor el uso de las fuentes de información obtenidas en medios de comunicación, y destaca, posiblemente sorprendido favorablemente por las relaciones que logra hacer Sergio entre el deshielo en Groenlandia y la regulación del clima en Galicia a través de la corriente del Golfo.

El docente aprovecha esta argumentación de Sergio para aclarar lo expresado por el alumno de que mucha gente no era capaz de entender la posibilidad de que llegue a producirse una glaciación en el Atlántico Norte como consecuencia del calentamiento global que estamos experimentando. También aprovecha para incorporar el conocimiento básico recogido en el modelo de la Bomba Termohalina, aunque parece que le quedó sin la matización suficiente, pues se refiere a que el agua fría tiene más densidad que la caliente, y para los estudiantes es obvio que el agua del deshielo es la más fría. Sobre esto convendría también referirse a que el agua dulce es menos densa que la salada, porque también parece fácil de entender que el agua del deshielo es dulce, y en esta argumentación convendría introducir el dato que, en su conjunto, el agua del deshielo es menos densa que la marina, y por tanto ocupa la superficie, motivo por el que se frena la corriente cálida del Golfo.

Pero en todo caso, la argumentación en estos términos de apoyo en el Calificador modal derivado de la aplicación del modelo Bomba Termohalina a la implicación en la cinta transportadora de la corriente del Golfo, ha sido muy eficaz para relacionar el deshielo de Groenlandia con posibles cambios en el clima de Galicia. En este sentido Sergio ha tenido éxito y ha superado en calidad con su discurso la argumentación que, sobre esta cuestión y modelo, desarrolló el grupo de la modalidad-tecnológica que quedó analizada en el segundo caso.

Sin embargo, tal y como quedó recogido en el tercer caso, en el grupo de la modalidad científico-tecnológico se entró en los efectos que tiene sobre el nivel del mar el deshielo de hielo situado sobre superficies continentales como Groenlandia o la Antártida, que era el contenido que se relacionaba con esta pregunta en la exposición. En este caso no se entró en la relación del deshielo de Groenlandia con la subida del nivel del Mar, que se buscaba con la formulación de esta cuestión, puesto que en Galicia se está constatando la subida del mar con datos instrumentales de una serie significativa relativa a los últimos treinta años.

El profesor no entra en esta cuestión, a pesar de ser una evidencia científica en nuestras costas. Esta pérdida de oportunidad pudo deberse a que la argumentación de Sergio fue tan sorprendente, impactante, coherente y rigurosa que pudo descentrar al docente de ese enfoque de relación del deshielo continental con la subida del nivel del mar. Pero también pudo ocurrir que como en este mismo grupo, en la respuesta a la cuarta cuestión, nadie diferenció el deshielo continental y el flotante para explicar la subida del nivel mar, pudo dejar en el docente la idea de que la justificación requería de conocimiento básico científico distante de estos estudiantes por la especialización curricular de su modalidad.

En relación a la valoración del argumento siguiendo la rúbrica de la Tabla 3.1 de la Metodología se le otorga 3 puntos por el apartado de hechos, porque Sergio expresa con toda claridad conexiones con el conocimiento científico. Se otorga la misma puntuación a la justificación porque expresa una concordancia plena entre los hechos y conclusiones con conexiones explícitas con conocimiento básico correcto y oportuno. A la Conclusión se le otorga también dos puntos, porque del enunciado se deduce un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento, si bien deja sin contemplar la influencia de la subida del nivel del mar.

Por tanto, la valoración de la calidad de la argumentación es de 8 puntos sobre un total de 9 cuando en la argumentación para la misma respuesta en el grupo científico tecnológico la valoración fue 3 sobre 9.

El patrón de la secuencia del discursiva es de la categoría consensuada (Hogan et al., 2000) porque solo Sergio contribuyó con declaraciones sustantivas a la discusión, y este discurso solo fue acompañado por la dirección del docente.

En cuanto a la modelización, siguiendo en la valoración el esquema de la figura 3.10 de la metodología el discurso, a diferencia de lo que se visualizó en el caso 3, en el que se valoró que el grupo científico tecnológico, Sergio consigue desarrollar un buen proceso de modelización apoyándose en su interpretación del contenido del documental. En ese sentido aplica perfectamente el modelo científico como un deshielo a nivel de Groenlandia podría afectar a las costas de Galicia. El grado de acierto es importante, tal y como se evidencia en las expresiones de satisfacción del docente. Hace una descripción del modelo gráfico infográfico del modelo de la cinta transportadora y consigue la coherencia necesaria para actuar como un modelo de ciencia escolar. Por tanto, se muestra como un modelo de éxito válido para el uso en ciencia escolar.

El modelo así expresado por Sergio, aplicando los patrones de referencia para la valorar el proceso de modelización de la rúbrica expresada en la tabla 3.2, obtiene la máxima valoración porque, aunque lo construye un solo alumno, el argumento expresa un modelo explícito claro sin ninguna aportación del docente. Por otro lado, en relación a su evolución, a lo largo del argumento hay una evolución hasta obtener un modelo perfectamente válido para la ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular en lo que respecta a la influencia en las corrientes marinas. Por tanto, se le otorga la valoración máxima de 8 puntos que se puede obtener por la suma de las valoraciones de las dos dimensiones contempladas en esta rúbrica de la tabla 3.2.

4.4.18 Discusión y conclusiones sobre el conjunto del discurso del caso 4

La discusión conjunta de los resultados del discurso, argumentación y modelización está orientada por el objetivo concreto de investigación de identificar pautas de argumentación en contextos curriculares ordinarios en los que el docente dirige los coloquios orientados a argumentar para conseguir dar respuestas relativas a las ciencias del cambio climático y cómo incide en ellas la modalidad de ciencias sociales.

Siguiendo las orientaciones del objetivo específico de investigación para este caso, se buscaron respuestas a las dos sub-preguntas particularistas del caso en el que se analizan las capacidades de argumentación y modelización expresadas en el discurso de las respuestas a las mismas preguntas que se respondieron en el caso 3, y que en este participaron en el coloquio los 15 estudiantes del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. La interpretación a realizar en este subapartado sigue las respuestas a las dos sub-preguntas particularistas:

1. ¿Cómo conduce el docente argumentación en función de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, y de las necesidades de modelización?
2. ¿Cómo influye la modalidad científico-tecnológica en los procesos de argumentación y en la evolución de los modelos mentales sobre cambio climático?

4.4.18.1 Discusión y conclusiones derivadas de la respuesta a la primera sub-pregunta particularista del caso 4:

En relación a la primera sub-pregunta particularista del caso se concluye que cuando la argumentación requería de respaldos científicos, como puede ser los procesos metabólicos de la fotosíntesis, de la respiración, de las sucesiones ecológicas, el profesor pone poca intensidad en hacer explicitar este conocimiento básico, posiblemente porque suponga que la modalidad de humanidades y ciencias sociales no garantiza demasiadas oportunidades. Es posible que tuviese presente que los estudiantes de la modalidad de ciencias sociales no suelen estudiar Biología y Geología en 4º de la ESO, que es la materia de la enseñanza secundaria básica que abordan las grandes teorías científicas. Tampoco ninguno estudia Biología y Geología en primero de Bachillerato. Podría así entender el docente que no era asumible para ellos ese conocimiento básico por no tener cursadas las dos materias se recogen los ámbitos de conocimiento implicados en los respaldos científicos demandados en esta argumentación.

De la respuesta a esta sub-pregunta se extrae la siguiente conclusión:

- Los resultados así analizados muestran que el papel del docente conduciendo el coloquio manifiesta una baja implicación en los aspectos relativos a los respaldos científicos posiblemente porque es conocedor que los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales no estudiaron los respaldos de contenidos en las materias de Biología y Geología y de Física y Química.

4.4.18.2 Discusión y conclusiones derivadas de la respuesta a la segunda sub-pregunta particularista del caso 4

Los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales muestran tener representaciones de clima y de localizaciones geográficas útiles como conocimiento básico para argumentar en la respuesta a esta cuestión. En general se evidencia una buena capacidad para organizar el discurso de forma coherente y gramaticalmente correcto. Esta diferencia en el dominio de la climatología y de la descripción geográfica global tiene una fundamentación lógica en el currículo de materias propias de la modalidad. También se debe tener presente la posible influencia del uso de representaciones sociales en el enseñanza y aprendizaje de ciencias sociales, y la expansión del uso que su naturaleza interdisciplinaria está facilitando (García-Vinuesa et al., 2022) y el uso de conversación como una herramienta de enseñanza y aprendizaje de ciencias sociales (Bonals, 2021). A su vez se debe tener presente el peso que tuvo en este estudio de caso la competencia en argumentación que mostró Sergio, un estudiante que interviene siempre con propiedad y centra muy bien las conclusiones, justificándolas con acierto en base a conexiones de datos con conocimiento básico.

La forma de abordar el conocimiento en ciencias sociales facilita la confrontación de ideas con los demás, utilizando para ello justificaciones, evaluaciones y contrastes de ideas que para cuestiones científicas se abordan de forma socio científica (Jin et al., 2015). Parece que la ciencia del cambio climático no es extraña para estos estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales porque incorporan con agilidad a la argumentación la representación mental de los efectos del cambio climático sobre seres vivos y ecosistemas, consiguiendo a veces mejores explicitaciones que en la modalidad científico-tecnológica. Aunque también existen importantes ideas alternativas como la confusión de Sara de los gases invernadero con la capa de ozono, un error que se sitúa la idea alternativa de la relación del ozono con la retención de la radiación calorífica, entendiendo esta capa de ozono como una capa de gases contaminantes. Aquí no se habla de agujero, sino de un aumento de la capa de ozono, que se viene entendiendo de esta forma como una capa de contaminantes que con el aumento de emisiones de dióxido de carbonos se va engrosando (García-Rodeja y Sesto, 2021). Sin embargo, Sergio se aparta de la idea alternativa de Sara atribuyendo al dióxido de carbono la retención de calor, introduciendo así este estudiante la representación mental más próxima al nivel 4 de la categorización de modelos de Varela et al. (2020). Con un modelo así se podría trasladar la urgencia de esas acciones por el clima analizando el paso la superación en este siglo de la barrera de concentraciones de dióxido de carbono de 0,03%, que todavía figura en libros de texto actuales, al actual que ya supera 0,04% (las 400 partes por millón).

La argumentación de la relevancia de 3° C que logran desarrollar muestra que estos estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales están aplicando el concepto desde representaciones mentales con el grado de evolución necesario para la interpretación del valor del grado en climatología. Esa comprensión del valor del grado en climatología se observa en la comparación de la temperatura media de Valencia con la de Galicia, por lo que esta representación mental parece derivar del trabajo con series y climogramas que aplican los desarrollos curriculares de la geografía de la secundaria. Esto prueba el interés de incorporar a las nuevas formas de aprender y enseñar que demanda el cambio climático las estrategias que se usan en la modalidad de ciencias sociales y que dejan en los estudiantes la representación mental del valor del grado. Con este tipo de estrategias propias de las ciencias sociales posiblemente se cumpla lo encontrado por Bodzin et al. (2014) de que esta barrera en la comprensión del valor del grado finaliza a los 15 años.

En el coloquio dirigido por el profesor en este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales aparece una cierta representación del equilibrio en bosques maduros tipo comunidad clímax, o al menos Sara expresa que en la selva el dióxido de carbono fijado es la misma cantidad que el liberado, y con eso justifica de forma satisfactoria el hecho de que una selva tropical madura no sea ni un sumidero ni una fuente de este gas. Sobre la participación de los procesos de fotosíntesis y de respiración en ese equilibrio, sin aparecer una presencia clara en este grupo de ciencias sociales, Sara sí menciona los dos conceptos. En general parecen entender el funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono (Sweeney y Sterman, 2007) en los que participan la fotosíntesis como sumidero y de la respiración, descomposición y combustión como fuente, aproximándose más a un balance cero a medida que la sucesión avanza hacia la comunidad clímax.

En relación a la interpretación que hacen sobre la subida del mar lo relacionan con el deshielo en general de polos y glaciares, sin distinguir que solo afecta el deshielo del hielo continental. No incorporan la dilatación térmica como un factor que contribuye a ese aumento. Llama la atención la baja implicación del docente en las estrategias de argumentación que se necesita en esta modelización lo que evidencia en la importancia que tiene desarrollar andamiajes con estrategias de argumentación que faciliten avances en este proceso de modelización.

Se aprecia una debilidad importante de representaciones mentales sobre los procesos de producción de dióxido de carbono en la combustión de combustibles fósiles, por cuanto que la estrategia de argumentación llega a la conclusión de que se libera por un cambio de estado hacia la evaporación. Por eso es importante articular modelizaciones que permitan llevar este modelo relacionado con el cambio a todos los estudiantes de secundaria que haga evolucionar estos modelos mentales basados en el cambio físico, más intuitivo y próximo, por el ciclo del agua, hacia el cambio químico ubicado en el ciclo del carbono. Esta modelización de ciencia escolar básica debe incorporarse en las materias propias de la modalidad de ciencias sociales, buscando así las conexiones transversales que requiere la enseñanza escolar del cambio climático.

Los estudiantes de esta modalidad de ciencias sociales son conscientes que el cambio climático supone un riesgo de incendios para los bosques debido al aumento de la temperatura. También parecen tener claro los efectos de las sequías sobre los bosques, y a nivel implícito, Sergio parece tener representaciones mentales que permiten introducir los efectos de las riadas sobre los bosques quemados, que el docente no exploró con la agilidad y la profundidad necesarias. Este buen desempeño del grupo de humanidades y ciencias sociales en las estrategias de argumentación sobre los impactos del cambio climático en los bosques puede detrás la importancia económica de los recursos forestales en Galicia. Pero a la vista de planteamientos economicistas contrarios al conocimiento ecológico que aparece en la argumentación, parece ser recomendable introducir modelos de ciencia escolar que permitan sacar conclusiones que permitan corregir este tipo de limitaciones. Esta necesidad de corregir importantes incoherencias ecológicas se visualiza en las estrategias de argumentación que siguieron para concluir las virtudes para la mitigación del cambio climático de las talas de bosques con árboles viejos para plantar otros nuevos que ayuden a mitigar el cambio climático.

ciencia escolar. Esta modelización permite visualizar oportunidades para planificar estrategias de modelización que posibiliten la introducción en la ciencia escolar estos modelos transversales que integran la geografía con oceanografía y climatología. Se abre así un escenario prometedor para articular modelizaciones de la ciencia escolar en colaboración con las ciencias sociales para lograr establecer las transferencias bidireccionales entre lo local y lo global en las nuevas formas de aprender y enseñar que demanda el cambio climático. La aparición de esta modelización compleja en el discurso de un estudiante impactado por un documental de cambio climático permite concluir también el interés de usar vídeos, animaciones y representaciones multimedia para apoyar este tipo de modelizaciones transversales complejas.

De la respuesta a esta segunda sub-pregunta se extraen las siguientes conclusiones:

- La construcción de los argumentos de los estudiantes de humanidades y ciencias sociales resulta ser ágil, consistente, sintética, clara y simple, lo que puede relacionarse con el uso de este tipo de estrategias en el ámbito de las ciencias sociales, al ser una metodología de uso frecuente en las clases de las materias modales de ciencias sociales.
- Cuando la argumentación requiere de justificaciones y respaldos científicos estos estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se sienten más inseguros que cuando se usan los de la geografía, por lo que son más precisos cuando tienen que argumentar sobre temperaturas globales o relaciones geográficas que cuando hay que fundamentar el origen del dióxido de carbono por el cambio químico de las combustiones o la diferencia en la subida del nivel del mar del deshielo del hielo continental o del hielo flotante.
- Los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales muestran en su discurso un dominio de las diferencias entre tiempo y clima, y sobre todo del valor del grado en términos climatológicos de temperatura media global
- Los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales usan con pertinencia y propiedad en la argumentación el concepto de efecto invernadero, si bien no entran en la fundamentación científica de retención de radiación infrarroja.

4.4.19 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación

Se aborda este apartado dando por sentadas las implicaciones didácticas del estudio de caso 3 y citando aquí los aspectos específicos extraídos de estudio de caso concreto. Se destacan los siguientes puntos:

- Resulta recomendable que la ciencia escolar del cambio climático se construya de forma transversal mediante estrategias de argumentación que impliquen procesos de modelización que compartan la visión de las ciencias experimentales con la de las ciencias sociales. Esto implica buscar nuevas vías de alfabetización científica escolar para desarrollar la capacidad de usar este tipo de representaciones mentales en la toma de decisiones en el conjunto de la ciudadanía para dar las respuestas que demanda el reto del cambio climático.

- Se debe relacionar la ciencia del cambio climático con los procesos sociales, demográficos y de uso de recursos que impulsaron la superación en este siglo de la barrera de concentraciones de dióxido de carbono de 0,03%, que todavía figura en libros de texto actuales, al actual que ya supera 0,04% (las 400 partes por millón), reflexionando sobre el significado socio económico de este avance con nuestros modelos de consumo y usos excesivos de consumo tomando como referencia el dato de que en 15 años aumentó en población en 1.500 millones de habitantes.
- La alfabetización científica sobre cambio climático debe buscar estrategias de argumentación y fórmulas de modelización para conseguir que el valor del aumento del grado en términos de cambio climático para conseguir que todos los escolares entiendan el valor del grado como lo hacen los estudiantes de la modalidad de ciencias sociales en este estudio de caso cuando sitúan la diferencia de 3° C como un dato clave para explicar las diferencias de los veranos en Valencia y en Galicia.
- Interesa desarrollar capacidades de argumentación que permiten modelizar la implicación en la subida del nivel del mar de la térmica y del deshielo del hielo que se encuentra en la superficie continental aplicables tanto a las ciencias naturales como a las ciencias sociales.
- La ciencia escolar del cambio climático interesa enseñarla vinculada a implicaciones para nuestra economía, salud y servicios ecosistémicos por lo que las alianzas entre las planificaciones transversales de proyectos curriculares entre los departamentos de ciencias naturales y ciencias sociales son estratégicas para conseguir una ciencia escolar de calidad.
- Se deben buscar estrategias de argumentación, en la convergencia de las ciencias del cambio climático básica para todos los estudiantes con las ciencias sociales, que vinculen el uso de los combustibles fósiles con las reacciones químicas y la formación de esos combustibles en los tiempos geológicos, para fundamentar y concienciar sobre la necesidad de acciones por el clima individuales y sociales.
- Conviene desarrollar una ciencia escolar del cambio climático transversal con las ciencias sociales para analizar de forma crítica y fundamentada las ventajas y los inconvenientes que pueden tener las plantaciones forestales reforestables para tener los árboles en fases juveniles.
- Interesa hibridar las ciencias naturales con las ciencias sociales para medir, con la esperanza de vida actual, la subida del nivel del mar a lo largo de su esperanza de vida actual en los lugares que viven y/o conocen, haciendo cálculos de las pérdidas económicas que se ocasionarán si no se pone remedio y pensando en las medidas de adaptación y mitigación necesarias.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 5: ARGUMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE 6 ESTUDIANTES DE LA CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA SIN INTERVENCIÓN DOCENTE

4.5.1 Introducción

En este estudio de caso se analizaron 80 minutos del discurso de un equipo de 6 estudiantes voluntarios del grupo clase de 27 estudiantes del primer curso de la enseñanza media superior (1º de Bachillerato) del sistema educativo español de la modalidad de científico tecnológica que participaron en la argumentación en coloquio del grupo clase conducida por el profesor objeto de estudio del caso 3.

Los seis estudiantes abordaron en 80 minutos, durante dos sesiones de clase, la co-construcción colectiva del discurso correspondiente a las respuestas de las mismas preguntas que respondieron tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor en la modalidad de agrupamiento de grupo clase. En este caso no se volvió a visualizar la exposición y, por tanto, los seis estudiantes recurrieron únicamente a lo que permanecía en su estructura cognitiva del proceso de enseñanza aprendizaje desarrollado mediante el trabajo con el recurso didáctico de la exposición sobre la unidad didáctica de Cambio Climático (anexo II) tres meses antes.

Los seis estudiantes que formaron este grupo de trabajo se apuntaron como voluntarios para participar en esta experiencia en el último día lectivo del curso, en el cual los estudiantes solo tenían que asistir al centro a recoger el boletín de calificaciones y a realizar actividades complementarias, entre las que se ofertó esta. Los seis componentes se sentaron en círculo en un espacio que se generó en el centro de la clase, quedando espacio vacío alrededor para que un observador con cámara tuviese libertad de movimientos para grabar las aportaciones de cada miembro.

El material grabado fue transcrito y analizado según las categorías de Toulmin (1958) y las establecidas para el análisis de las interacciones basadas en Hogan et al. (2000). Sobre el total de la transcripción de la respuesta a cada pregunta se realizó la categorización. Igual que en los casos anteriores, el discurso de cada uno de esos eventos se representó en un diagrama de flujo del discurso (Hogan et al., 2000), y se finalizó la presentación de los resultados con una representación sintética de la argumentación en un esquema de Toulmin (1958).

El grupo de los 6 estudiantes se enfrentan a este reto solo con lo que retienen en su estructura cognitiva de la argumentación y modelos construidos tres meses antes bajo la dirección continua del docente. Responden ahora, en este pequeño grupo de voluntarios, a las nueve primeras cuestiones que respondieron tres meses antes, formando parte entonces de su grupo clase en el coloquio en grupo grande:

1. ¿Es malo el CO₂ para la vida?
2. ¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?
3. ¿Una selva es un sumidero de CO₂?
4. ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?
5. ¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?

6. ¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?
7. ¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?
8. ¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?
9. ¿Cómo puede afectar a Galicia un aumento de temperatura en Groenlandia?

Se analiza la argumentación de este grupo de 6 estudiantes de la modalidad Científico-Tecnológica sin intervención docente con los siguientes objetivos:

- Conocer en qué medida los estudiantes retienen en su estructura cognitiva estrategias de argumentación y la validez de argumentos y modelos asimilados tres meses antes en la co-construcción de argumentaciones conducidas por los docentes.

Este objetivo específico de caso se planteó para orientar la búsqueda de respuestas a la pregunta a las dos sub-preguntas particulares de este caso de co-construcción de la argumentación para responder a las 9 cuestiones, ahora sin el rol director de la argumentación del docente y sin consultar ninguna fuente, para tener que recuperar en su memoria lo asimilado en su estructura cognitiva 3 meses antes con la argumentación conducida por el docente. Las sub-preguntas particulares de este caso son las siguientes:

1. ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente 3 meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica?
2. ¿En qué medida la modalidad científica-tecnológica está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

Los datos se obtuvieron mediante una cámara de vídeo, que fue moviendo un cámara observador, quien se desplazó en círculos para recoger el discurso de cada estudiante a medida que intervenía. Se transcribió la totalidad del discurso generado en los 80 minutos de clase y, una vez transcrito, se marcaron con saltos de página los fragmentos de discurso correspondientes a la argumentación relativa a las respuestas de cada una de las 9 preguntas que se tomaron como unidades de análisis, al igual que ocurre en los casos 3, 4 y 6.

Una vez realizada la separación de los nueve fragmentos de discurso se procedió a categorizar cada turno de intervención aplicando las categorías de Toulmin adaptadas con las aportaciones de diferentes investigaciones sobre la argumentación relativa a las Ciencias de la Naturaleza y Educación Ambiental (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993). La unidad de análisis para la categorización de la transcripción, tanto de las interacciones como de las argumentaciones, son los “turnos de intervención”. Un turno empieza cuando una persona toma la palabra y finaliza cuando lo hace otra persona.

Las categorías que se establecieron fueron las siguientes: “justificación” (afirmaciones que justifican la conexión entre los datos y las conclusiones, “respaldo” (conocimientos básicos de naturaleza teórica, usado para el apoyo de la justificación), “datos hipotéticos e empíricos” (hechos, observaciones, datos, .que sirven de partida para llegar a una conclusión), “desafíos” (cuestionan la validez de una información), “oposición” (cualquier afirmación que

niegue lo que fue afirmado por otro) “concesión” (cualquier afirmación que conceda algo a un destinatario admitiendo un punto de vista); “calificadores” (afirmación que especifica las condiciones que se tienen que dar para aceptar la hipótesis), “refutaciones” (especifican las condiciones para descartar la hipótesis).

Con la transcripción de cada uno de los eventos de interés (fragmentos de discurso correspondientes a cada una de las diez preguntas de investigación) se procedió, de acuerdo a la metodología general, a representar el mapa del discurso inspirado en Hogan et al. (2000). Estas representaciones suponen categorizar cada turno de intervención con las siguientes categorías: 1) Aportación de datos, teorías, justificaciones (se representan en la columna de la zona de interacción en un rectángulo en los diagramas de flujo del discurso), 2) Presentación de retos (se representan mediante hexágonos con lados paralelos más grandes en los diagramas de flujo del discurso), 3) Reflexiones en términos de metacognición sobre el propio discurso y su contenido (óvalos en los diagramas de flujo del discurso).

Una vez desarrollado el mapa del discurso se procede a realizar una representación del argumento mediante un esquema de Toulmin. Cada rectángulo representa una categoría de Toulmin (indicado con mayúscula) que se le asigna a un enunciado relevante del evento de acuerdo con el esquema de Toulmin y que se sintetiza en el interior del rectángulo (minúscula).

Del análisis de los resultados realizado en este caso se concluye que los estudiantes argumentan con seguridad, síntesis, con uso en amplitud y propiedad de los elementos de la argumentación establecidos. También se encontró que la retentiva de los avances en los procesos de modelización y de las propias estrategias de argumentación es elevada, a pesar de que están activando conocimientos obtenidos 3 meses antes.

4.5.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.5.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.5.1. comprende el discurso desarrollado por los seis estudiantes del grupo sobre si el CO₂ es un gas importante para la vida. Estos seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica abordan ahora, sin la intervención del profesor, la misma cuestión sobre la que tres meses antes argumentaron bajo las orientaciones del profesor.

Cristian	<i>A ver, ¿el CO₂ es malo para la vida?</i>	Desafío	AG-PR
Carlos	<i>¿Cristian?</i>	Desafío	AA-DL
Cristian	<i>“Bueno”, el CO₂ malo, malo, pues no, porque es necesario, pero todos sabemos que sus efectos son malos cuando es demasiado.</i>	Conclusión	AG-EX
Carlos	<i>A ver, no, es bueno porque el CO₂ provoca que no exista tanta diferencia entre noche y día y pueda haber un clima agradable en la tierra y pueda desarrollarse la vida sin cambios bruscos. En exceso, es malo porque aumenta la temperatura global y eso provoca cambios en el clima de la Terra y demás.</i>	Justificación y conocimiento básico	AG-EX

Figura 4.5.1. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de trabajo de 6 voluntarios del grupo científico - tecnológico sin que intervenga el docente.

4.5.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.5.2 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 1.

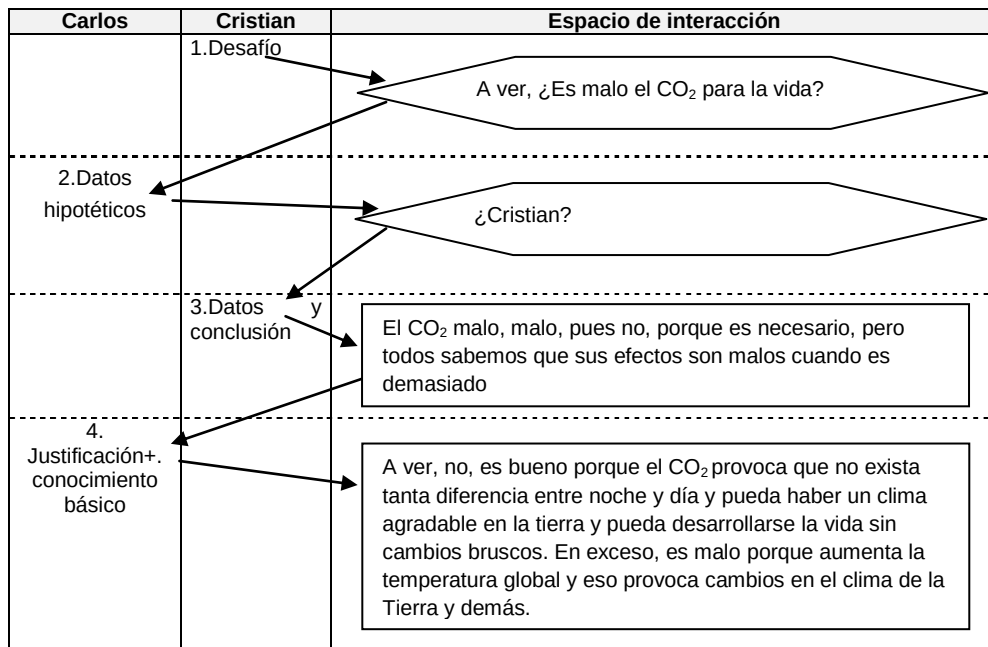


Figura 4.5.2. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de trabajo de 6 voluntarios del grupo científico - tecnológico sin que intervenga el docente.

4.5.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.5.3 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº1.

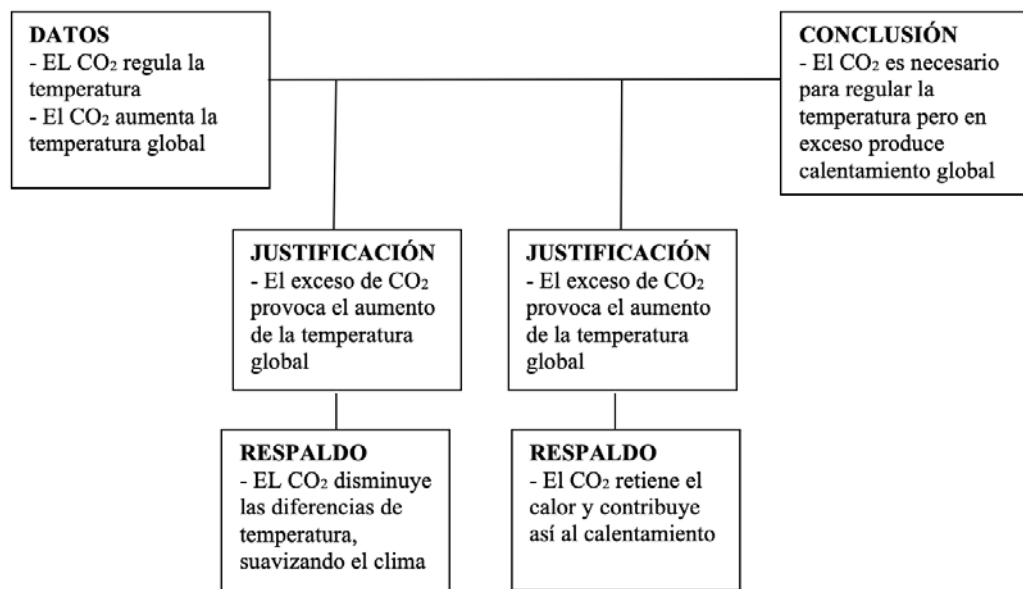


Figura 4.5.3. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de trabajo de 6 voluntarios del grupo científico - tecnológico sin que intervenga el docente.

4.5.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión

Al no participar el docente, el alumno que asume la conducción es Carlos, un estudiante que ha tenido una participación relevante en los diez eventos de interés del tercer caso y al que el profesor pidió sus aportaciones en diversas ocasiones. Este alumno suele asumir este rol, aunque Carolina también conduce bastante el desarrollo del discurso, sobre todo en la introducción de las cuestiones. El discurso que se desarrolló en la búsqueda de la respuesta a la cuestión formulada es breve y parece estar presente el conocimiento puesto de manifiesto en la argumentación conducida por el profesor tres meses antes.

Carlos, siguiendo pautas de argumentación puestas en práctica por el docente 3 meses antes, reta a intervenir a Cristian, que en el grupo inició la respuesta desde la seguridad de disponer del conocimiento necesario para argumentar la respuesta a la cuestión. Sobre el conocimiento aportado por Cristian, argumentando que el CO₂ es malo, Carlos cierra la argumentación justificando lo que apuntó Cristian de que es necesario para regular la temperatura. Con las aportaciones de Carlos se cierra un argumento coherente con más rapidez que el obtenido en el caso 3 para responder a la misma cuestión.

Entre estas aportaciones de Carlos, que cerraron el discurso relativo a la primera cuestión, destacan la importancia que tiene para la vida la regulación de la temperatura. También

matiza que el exceso de CO₂ provoca un aumento de temperatura global que afecta al clima, en lo que parece una alusión implícita a la responsabilidad del aumento antrópico de este gas en el cambio climático.

Esta mayor profundidad y rapidez en la argumentación, tres meses después, parece demostrar la eficacia del aprendizaje de la información que surgió en la argumentación dirigida por el docente que se recoge en el análisis de la argumentación en la respuesta a esta en el caso 3.

En cuanto a la valoración de la calidad de los argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología, en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación media de 2 puntos, aunque no suministran datos empíricos comprobados por la ciencia, como que el porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera es del 0,04%, del orden de 400 partes por millón, ni que retiene la radiación infrarroja, sí que usan datos hipotéticos con coherencia científica para justificar su capacidad de regular la temperatura, ejemplificando muy bien esta, en la amortiguación de diferencias entre temperaturas diurnas y nocturnas. Por eso en el apartado de hechos se le otorga la puntuación media (2 puntos), por apoyarse en hechos hipotéticos con coherencia científica. En relación al apartado de justificación se le otorga la puntuación media (2 puntos) por la concordancia aceptable que existe en la justificación entre los hechos y las conclusiones a través de relaciones implícitas con el conocimiento básico. No se le otorga la máxima puntuación porque no expresa una concordancia plena entre los hechos y las conclusiones con conexiones explícitas con conocimiento básico correcto y oportuno, que en este caso sería la retención de la radiación infrarroja por el dióxido de carbono. También se le otorga la puntuación media (2 puntos) en el apartado de conclusiones porque con la regulación térmica en el enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento. Por tanto, se valora el argumento con una puntuación de 6 puntos sobre los 9 que tendría un argumento de calidad con valoración máxima, que coincide con la puntuación que se otorgó a la argumentación generada en la respuesta a la misma pregunta en el coloquio de grupo clase dirigido por el docente.

La secuencia del flujo del discurso se correspondería con un patrón de secuencia de intervención de la categoría consensuada expresada en la figura 3.4 del apartado de metodología. Este patrón deriva del hecho de que Carlos contribuyó con las declaraciones sustantivas, tanto a nivel conceptual como de preguntas; y el otro participante, Cristian, respondió a la pregunta sin hacer aportaciones significativas al dar información menos completa y justificada que la aportada por Carlos. Se observa así una diferencia significativa con el patrón de la respuesta a la misma pregunta cuya argumentación dirigió el profesor, quien logró una secuencia colaborativa.

Al igual que en la argumentación de la respuesta a la misma cuestión, cuyo discurso dirigió el docente, aquí tampoco se visualiza un proceso de modelización relevante aplicando el análisis del método de modelización expresado en la figura 3.10 del apartado de la metodología, puesto que en el discurso no se identifica ningún evento que implique procesos de modelización que se desarrollen a través de las estrategias de argumentación colectiva que siguen los estudiantes. Solo aparece una declaración sustantiva de Carlos que se soporta en un modelo que explica la retención de la radiación infrarroja por el dióxido de carbono, pero no aparece ninguna explicitación ni co-construcción colectiva de un proceso de modelización relativo a esta regulación térmica.

4.5.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

4.5.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.5.4. comprende el discurso desarrollado por los seis estudiantes del grupo de la modalidad científico-tecnológica sobre si es relevante para la vida un aumento de 3º grados centígrados de temperatura media. Estos seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica abordan ahora, sin la intervención del profesor, la misma cuestión sobre la que tres meses antes argumentaron bajo las orientaciones del profesor.

Carolina	<i>¿Una diferencia de 3 grados centígrados en la temperatura media tiene importancia para la vida?</i>	Desafío	AG-DL
Consuelo	<i>Una diferencia de 3 grados en la temperatura media sí que tiene importancia en la vida porque...eh... estamos hablando por ejemplo de un cambio muy brusco entre el día y la noche, por ejemplo, ahora la variación es muy pequeña, como mucho 1 grado entre día y noche. Si aumenta una media de 3 grados ya no sería 1 o 2, sería eso más, 3.</i>	Datos y conclusión	AG-EX
Cristian	<i>¿Pero 3 grados es poco?</i>	Desafío	AA-PR
Consuelo	<i>No.</i>	Conclusión	AA-PS
Cristian	<i>Porque vamos, unas décimas pueden cambiar todo.</i>	Justificación	AA-EX
Carolina	<i>Yo pienso que lo importante de esta variación de que nos hablan aquí de 3 grados sería el cambio en el ecosistema, porque muchos pájaros así tendrían que emigrar porque no serían las condiciones a las que están acostumbrados, entonces sería el gran problema, que estaríamos variando las condiciones de vida de los seres vivos. Bueno, seguimos.</i>	Justificación y respaldo	AG-EX
Charo	<i>Yo estoy de acuerdo con Carolina, porque el cambio de temperatura, aunque 3 grados nos parezca poco, al ecosistema donde viven los animales sí que le va a afectar, ya que no están viviendo en las mismas condiciones y tendrían que preocuparse por buscar otro lugar donde las condiciones serán parecidas a donde viven actualmente y no con estos cambios.</i>	Justificación, respaldo y conclusión	AG-PS

Figura 4.5.4. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor.

4.5.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.5.5 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 2.

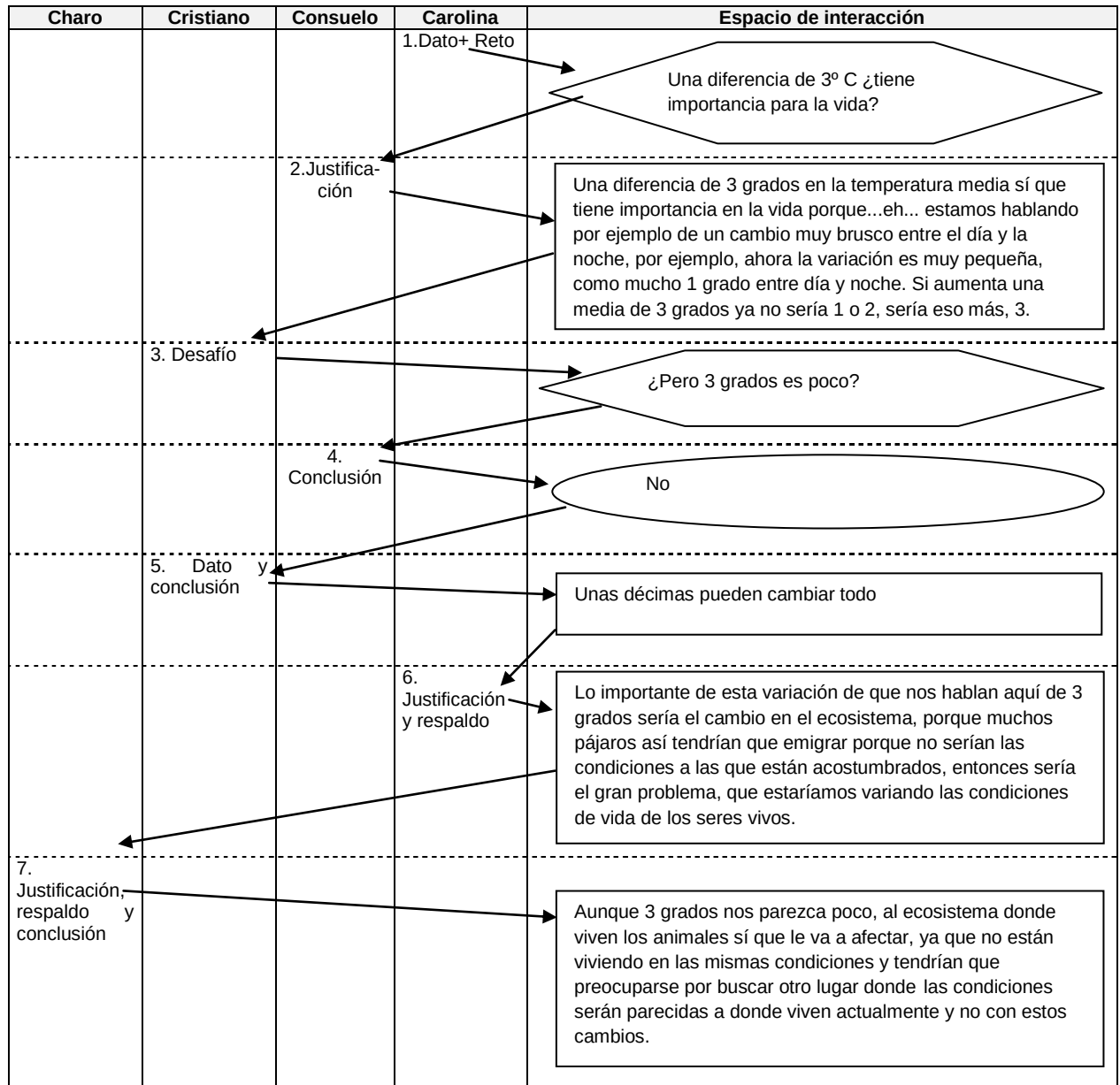


Figura 4.5.5. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor.

4.5.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.5.6 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante el coloquio dirigido por el profesor para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº2.

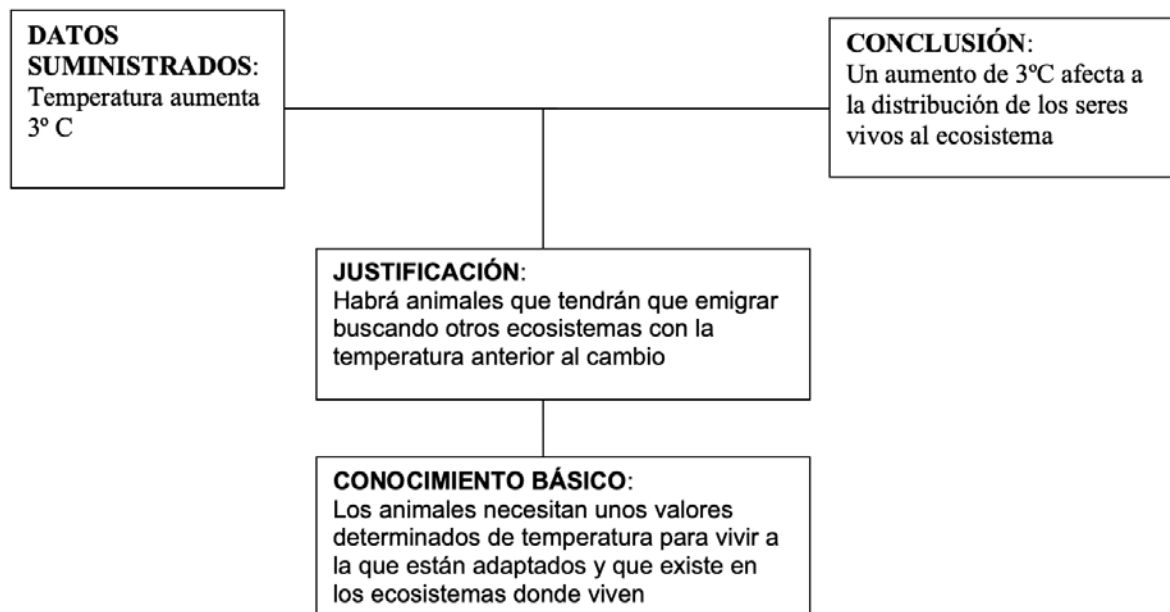


Figura 4.5.6. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del segundo caso.

4.5.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

Este discurso lo inicia Carolina, asumiendo ella su liderazgo y dirección al formular el reto, algo que tiende a alternar con Carlos, asumiendo así el rol del docente en la introducción de las cuestiones a responder mediante la argumentación colectiva. Consuelo plantea una conclusión directa, pero incoherente porque no tiene asimilado el valor del grado en climatología. Al menos esto es lo que parece inferirse de su justificación de la conclusión a la que llega, al considerar que 3° C superan la diferencia de la temperatura media diurna y nocturna, cuando esa diferencia de temperatura es bastante más grande y nada tiene que ver con las medidas promedio de aumento en la temperatura planetaria global.

De alguna forma Cristian parece manifestar esta incoherencia derivada de sustentar la argumentación sobre una interpretación errónea de los datos, y eso parece querer ponerlo de manifiesto cuando dice que algunas décimas pueden cambiar todo, algo coherente con la situación del cambio climático antropogénico, según el cual una variación de 0,7°C en temperatura media global afectó ya al clima a nivel planetario. Es posible que Carlos ya tenga en cierta manera una representación implícita del valor del grado en climatología en términos de promedio planetario. Eso podría estar en la interpelación que le hace a Carolina de si 3° C es poco. Lo que es evidente es que Carolina con la diferencia de 3° C se está refiriendo al

valor meteorológico de diferencias diarias de temperaturas entre noche y día. Sin embargo, no queda claro que el reto que le formula Carlos sea para que exprese que 3° C en términos de aumento de temperatura global resulta preocupante.

De nuevo, al igual que ocurrió con la argumentación conducida por el profesor tres meses antes, los estudiantes simplifican en su discurso el concepto de ser vivo a animal. A pesar de que el profesor tres meses antes afrontó esta idea alternativa limitante, esta parece que no quedó arraigada en ninguno de los seis miembros del grupo, porque nadie se opone ni matiza esta limitación conceptual. Pero al mismo tiempo también parece que quedó asimilada, con ese sesgo, la conclusión de que esa diferencia de temperatura global altera el sistema climático afectando a la distribución de las especies. De nuevo, en los efectos de este aumento de temperatura los estudiantes hacen referencia solo a migraciones para buscar ecosistemas con la temperatura que tenían antes, e incluso concretan esta migración, como pasó tres meses antes, en las aves. Sigue manteniéndose la limitación conceptual a la que el profesor hizo frente meses antes, introduciendo la importancia en la vegetación de posibles sequías derivadas de ese aumento de temperatura. Por eso parece que no tuvo éxito en la consolidación de la repercusión sobre la vegetación en la estructura cognitiva de los estudiantes. Tampoco ahora se hace referencia a la desaparición de especies, al dejar los efectos limitados a la migración de las especies. Posiblemente la argumentación dirigida por el docente no logró alcanzar el nivel de profundidad con la cantidad de procesamiento y grado de elaboración de la codificación (Pozo et al., 2001) que se necesita para retener de forma significativa y transferible la importancia de los efectos sobre la vegetación, y por tanto del ecosistema, de un aumento de la temperatura global de 3° C.

Aunque ya pasaron 3 meses desde la argumentación dirigida por el docente se observa que quedó asimilada la diferencia de 3° C como muy significativa, una diferencia a la que Carmen, en la argumentación conducida por el docente 3 meses no parecía darle demasiada importancia, pero que en términos de temperaturas promedio globales, un escenario con este aumento de temperatura es preocupante para la distribución y supervivencia de muchas especies. Siguen existiendo dificultades para entender el valor en términos promedios de alcance global, pues sitúan las diferencias entre la noche y el día, por lo que las experiencias sensoriales inmediatas de cambio de temperatura parece que actúan como una barrera para analizar el valor del grado en términos promedios y globales. Pero aun sin expresar la importancia de ese aumento de la temperatura global, sí que se mencionan efectos sobre la distribución de las especies, centrándose únicamente en las especies animales migratorias. No se expresa en ningún momento el hecho de que esta diferencia de temperatura pone en peligro la existencia de muchas especies, especialmente las no migratorias. Tampoco parece entenderse que con esa diferencia incluso podrían estar en peligro las especies migratorias, entre las que no podemos descartar la nuestra.

Al centrarse en las diferencias de temperatura de 3° C entre el día y la noche, no están analizando esta diferencia en términos promedios globales, posiblemente se deba a la necesidad de recurrir a analizar ese valor en términos de nuestras vivencias cotidianas y diarias centrándose en las 24 horas de una rotación terrestre que nos deja diferencias en sensaciones térmicas capaces de afectar a nuestro bienestar, determinando así cambios en la vestimenta diaria. Esta interpretación refuerza todavía más la resistencia al cambio de esta idea alternativa de la confusión del grado meteorológico con el climatológico que expresó Heras (2013) del que derivan concepciones erróneas que dificultan una valoración adecuada de lo que significa este cambio. Esta resistencia al cambio puede justificar que esta dificultad

persista 3 meses después, aunque dando más relevancia inmediata al dato, lo que parece que quedó retenido en la mente de los estudiantes.

Estos estudiantes no demuestran haber asimilado la representación del grado en climatología a pesar del andamiaje que el docente desplegó 3 meses antes. La resistencia a la modelización de la importancia del grado en el aprendizaje del cambio climático hace recomendable integrar el valor del grado en cambio climático llegando a temperaturas medias desde los cálculos promedios de temperaturas en climatogramas de zonas climáticas contrastadas y conocidas con componente oceánico y continental, siendo estos de costa, con un clima más continental. En Galicia llegaría con las series de las zonas costeras con zonas el interior, como puede ser Ourense, u otro lugar interior de Galicia con veranos más calurosos e inviernos más fríos. Sin ese nivel de representación profunda se visualizan dificultades para una correcta representación mental del valor del grado en términos de evolución del cambio climático, una representación fundamental para entender los peligros que se están comentando en los medios de comunicación de un aumento de la temperatura global de 1, 5° C.

Siguen sin aparecer efectos sobre la vegetación debidas al aumento de la temperatura global, persistiendo el sesgo de efectos sobre especies animales migratorias. Por tanto, siguen sin interiorizarse representaciones mentales de los efectos sobre la estabilidad y dinámica de los ecosistemas. Sorprende esta resistencia al cambio conceptual una vez vistos los esfuerzos que hizo el docente tres meses antes activando en la memoria de los estudiantes la importancia de la humedad en la distribución de especies vegetales, pero tampoco quedan evidencias de la no inclusión, porque esta vez las formulaciones son más sintéticas. Ese procesamiento profundo que buscó el docente se visualiza que no se consiguió y era necesario en la co-construcción de argumentos orientados por procesos de modelización de la complejidad que requiere la Ecología, un ámbito de conocimiento demandante del pensamiento complejo y sistémico. Esto puede explicar que no funcione una retención significativa de la importancia que tienen para la estabilidad de los ecosistemas los efectos sobre la distribución de los productores. En la discusión del caso 3 ya se expresó que parecía que el profesor echó en falta, en cierta manera, el razonamiento en términos de las relaciones interdependientes de los elementos del clima sobre la distribución de las especies a los ecosistemas. Posiblemente esa aparente frustración del docente pueda explicar que ahora no aparezcan estas relaciones entre las implicaciones de la temperatura sobre la humedad y, en consecuencia, para la distribución de las especies y estabilidad de los ecosistemas.

De nuevo en la respuesta a esta segunda cuestión, en este caso en el que no aparece el rol del docente del caso 3, se pone de manifiesto la necesidad de que el alumnado comprenda y analice el sistema climático como tal: un sistema compuesto por una serie de elementos interdependientes (Shepardson et al., 2017), que interaccionan entre si generando bucles de retroalimentación con la dinámica de los ecosistemas. Solo desde ese paradigma, que la estrategia de argumentación conducido 3 meses no logró que quedara fijado en la estructura cognitiva para que se tuviera para aplicar aquí, se puede argumentar con seguridad que el aumento de la temperatura global en 3° C puede resultar crítico sobre el sistema climático afectando a factores cuyos cambios tienen efectos sobre los productores y, por tanto, sobre las demás especies de los ecosistemas.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos, aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos, se asigna la puntuación media (2 puntos) porque los estudiantes aportan el dato hipotético, ya a nivel de enunciado de conclusión, de

que la diferencia de 3° C afecta al ecosistema, aunque emiten otros datos sin coherencia como la diferencia de temperaturas de la noche y del día que no tienen relación con el conocimiento científico implicado, pero al no repercutir en la conclusión no se toma en consideración. En el apartado relativo a la Justificación se otorgan 2 puntos porque existe una concordancia y conexión del aumento de la temperatura con la distribución de las especies, ejemplificando estas consecuencias con la emigración de especies animales que no podrían vivir en esas condiciones, coincidiendo con los resultados en la respuesta a la misma cuestión en el estudio de caso 3. Como en la argumentación en la respuesta a la misma cuestión en el caso 3, también aquí el conocimiento básico no acaba de ser pleno y oportuno por cuanto se centran en los animales y en la movilidad, obviando los productores que son la base del funcionamiento de los ecosistemas.

El análisis de los apartados de hechos y justificaciones determinan que la valoración del apartado de Conclusiones sea de 1 punto porque, si bien formulan conclusiones en términos de conceptualización propios de un modelo, al expresar que los 3° C afectan a las especies, no lo hacen ni a nivel explícito ni a nivel implícito en base al modelo del aumento del efecto invernadero y de efectos de este aumento de temperatura sobre la disminución de la humedad.

Por tanto, se le otorga una valoración global a la calidad del discurso de 5 puntos sobre el total de 9 puntos que corresponderían a la valoración máxima de ese argumento. Esto significa un aumento de 1 punto en relación a la valoración otorgada a la respuesta a esta misma cuestión en el tercer estudio de caso.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso se observa una secuencia colaborativa, como la conseguida por el profesor tres meses antes, porque participan con vocación de conceptualizar 4 estudiantes, aunque se trata de una secuencia breve, que en el caso dirigido por el docente, este tuvo que hacer un importante esfuerzo para buscar la evolución de los modelos mentales, por lo que ese esfuerzo por el procesamiento profundo parece que dio resultados en términos de un aprendizaje permanente, capaz de seguir dando resultados tres meses después.

Tres meses después tampoco se identifican procesos de modelización claros por parte de los estudiantes porque la relevancia de los tres grados no aparece destacada de partida en términos de temperatura global, o al menos no se expresó de forma explícita la importancia de ese aumento en términos climatológicos. Los cambios en los ecosistemas siguen explicitándose con migraciones de animales y no aparecen los efectos sobre la vegetación debido a los procesos retroalimentación entre el aumento de 3° C en términos de temperatura global y los cambios en las condiciones actuales del suelo que da soporte a los ecosistemas próximos y bien conocidos por los estudiantes. Sigue habiendo confusiones en el valor del grado en términos de tiempo atmosférico (diferencias noche y día) con el valor del grado en climatología que es el dato de partida de esta argumentación.

4.5.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

4.5.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3

La figura 4.5.7 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes del grupo de la modalidad científico-tecnológica argumentando sobre la tercera cuestión ¿Es una selva un sumidero de CO₂? sin intervención del docente y que tres meses antes respondieron a

la misma cuestión durante el coloquio dirigido por el profesor. Este desafío tiene como reto salvar la incorrecta interpretación de las selvas como sumidero de dióxido de carbono.

Celso	<i>A ver, ¿Una selva es un sumidero de CO₂?</i>	<i>Desafío</i>	G-DL
Carolina	<i>Una selva sí que se puede considerar un sumidero de CO₂, pero pasa que tenemos que tener otras cosas claras, como que no es lo mismo una selva “joven” que una selva vieja, porque una selva “joven” como está en crecimiento consume muchísimo CO₂, pero en cambio una selva vieja no se puede considerar como sumidero de CO₂ ya que consume muchísimo menos.</i>	<i>Conclusión, Justificación y Calificador modal</i>	AG-EX
Cristian	<i>Produce más, claro.</i>	<i>Acuerdo</i>	AA-PS

Figura 4.5.7. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.5.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.5.8 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 3.

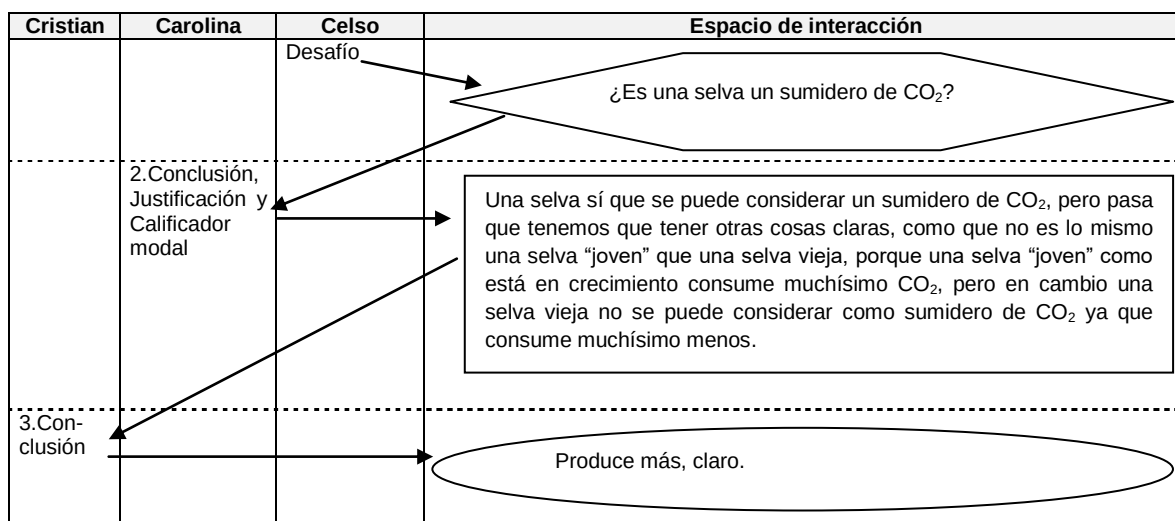


Figura 4.5.8. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de la modalidad científico - tecnológico.

4.5.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.5.9 se representa la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada por el equipo de 6 miembros para conseguir una respuesta colectiva a la cuestión nº3.

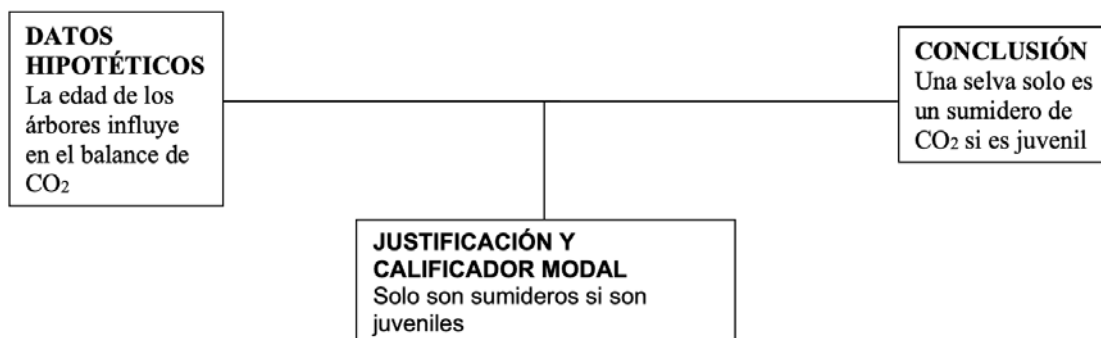


Figura 4.5.9. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del segundo caso.

4.5.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

Aquí el rol equivalente al docente en la formulación de la pregunta a modo de desafío lo adopta Celso. La argumentación sobre esta cuestión quedó limitada prácticamente a la intervención de Carolina. Esta alumna demostró aquí integrar de una forma eficaz y clara la argumentación que consiguió dirigir el docente tres meses antes con un esfuerzo importante por conseguir que esta cuestión resultara significativa para el alumnado, para lo que se esforzó por llevar el discurso a un procesamiento profundo que ahora parece dar resultado, a la vista de lo expresado por Carolina, y aceptado por Cristian. Se entiende esta aceptación si Carolina usa “*consumo*”, en referencia a la fijación de carbono y Cristian “*produce*” como liberación de dióxido de carbono. Después de las dificultades que tuvo tres meses antes el profesor para conseguir que los estudiantes entendieran que las selvas cuando llegaban a comunidad clímax en equilibrio no eran ni sumideros ni fuentes, por la argumentación de Carolina asumida por los demás, queda expresado que las selvas si son juveniles son sumideros.

Parece así, al menos en cierta manera, asimilado que, si los árboles están en su práctica totalidad en proceso de crecimiento, fijan más dióxido de carbono por el proceso de la fotosíntesis que el emitido por la respiración y descomposición: Por eso se interpreta que Carolina concluye que las selvas juveniles son mejores sumideros, sin indicar nunca la capacidad de los árboles de actuar como fuente. Eso parece tenerlo claro Cristian, cuando matiza a Carolina diciendo lo que parece significar que las selvas viejas producen más dióxido de carbono con la expresión “*produce más, claro*”, lo que acaba de mejorar la conclusión expresada por Carolina.

Pero en ningún momento del discurso sale a relucir el respaldo de que el efecto de sumidero de una selva depende de que los procesos de fotosíntesis predominen sobre los de respiración y descomposición, que es el conocimiento básico que respalda la conclusión a la que llegan de que las selvas son sumideros si son juveniles. Una conclusión que deja al margen, como ocurrió 3 meses antes, a las selvas comunidad clímax, frecuentes en las latitudes tropicales.

Aunque parece que el procesamiento profundo que buscó el docente tres meses antes dejó un buen nivel de asimilación a medio plazo de lo estudiado, no aparece el papel del CO₂ en la fotosíntesis como tampoco apareció la relación de este gas con ese proceso en ninguno de los casos. Posiblemente el profesor no forzó la introducción de este concepto por priorizar los aspectos más relevantes para el cambio climático. Como se comentó en el estudio de caso 3 cuando el profesor se conformó con la respuesta “*comen*” como símil de fotosíntesis, corrió el riesgo de dejar el procesamiento en un nivel superficial que podría explicar que ahora siga sin aparecer la fotosíntesis en la fundamentación del papel sumidero. También quedan ausentes el papel de la respiración y descomposición como fuente y los cambios de sumidero desde una comunidad pionera al equilibrio propio de las comunidades clímax en las sucesiones. Parece que siguen presentes las barreras para la verdadera comprensión del funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono (Sweeney y Stermann, 2007) lo que podría explicarse porque los seis estudiantes llegan, tres meses después, sin la modelización necesaria.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología se le otorga 2 puntos por el apartado de Hechos porque expresan el predominio de la asimilación en las plantas jóvenes. En cuanto a la Justificación se le otorga también 2 puntos porque existe una concordancia entre esos hechos hipotéticos abstractos que enuncian sobre la retención de C, pero sin dar oportunidad de la aparición de los procesos de fotosíntesis como proceso de fijación de C por la planta y de los procesos de la respiración y descomposición como bases del proceso de liberación. En cuanto a la Conclusión se le otorga 2 por concluir que la selva solo sería sumidero si es juvenil, por lo que la conclusión tiene un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento.

Por tanto, la valoración global otorgada a la calidad del argumento es de 6 puntos sobre el total de 9 puntos que se le otorga como máximo a un argumento por su calidad. Queda valorado en 1 punto menos que la argumentación por la respuesta a la misma cuestión dado que allí se le dio 3 puntos a la conclusión porque situaba el equilibrio en una comunidad clímax dentro del conocimiento básico expresado.

La pauta del flujo del discurso seguida se corresponde con un patrón de secuencia de intervención de la categoría consensual (Hogan et al., 2000) porque la aportación sustantiva la aporta únicamente Carolina.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización, aunque Carolina expresa que una selva sí que se puede considerar como un sumidero de CO₂, distingue la casuística de una selva “*joven*” de una selva “*vieja*”, justificando que una selva “*joven*” como está en crecimiento consume muchísimo CO₂, pero en cambio una selva vieja no se puede considerar como sumidero de CO₂ ya que consume muchísimo menos. Cristian parece querer matizar lo expresado por Carolina utilizando una expresión que puede derivar de una representación mental implícita de la productividad, cuando dice “*produce más, claro*”, pero que si se refiriese a la “*selva vieja*” no sería coherente, a no ser que él se esté a referir, como es posible,

con “*produce*” a la emisión de CO₂. Por eso parece que no existe una modelización, o al menos no está explícita y evidente, de la disminución de la productividad en las sucesiones que conducen a los bosques juveniles hacia comunidades clímax como las representadas por la mayoría de las selvas tropicales. En todo caso, si existiera esta modelización sería incoherente, por cuanto que parece desprenderse de lo expresado por Carolina que la tasa fotosintética disminuye a medida que evoluciona la sucesión que conduce a una selva que pueda funcionar como una comunidad clímax. Por todo lo expresado sobre el proceso de modelización, no se considera que sea claro un proceso de modelización válido para la ciencia escolar en esta argumentación. Sin embargo, se considera que los grados de validez de argumentación y modelización se mantienen tres meses después, porque de aquella se cerró la argumentación con estas debilidades.

4.5.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

4.5.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4

La figura 4.5.10 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes del grupo de la modalidad científico-tecnológica argumentando sobre la cuarta cuestión ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar? sin intervención del docente y que tres meses antes respondieron a la misma cuestión durante el coloquio dirigido por el profesor.

Carlos	<i>¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?</i>	Desafío	AG-DL
Carlos	<i>Las causas de que el nivel del mar esté subiendo es por el deshielo del hielo continental, o sea, que está sobre la tierra.</i>	Datos, Justificación, Conclusión	AG-EX
Carolina	<i>Pero para que haya deshielo lo principal sería el aumento de temperatura, ¿No Carlos?</i>	Datos	AA-EX
Carlos	<i>A vale, perdona, perdona. Que por el aumento de temperatura se están desheliando los polos que...oh, mira ya me estoy “liando”. Que la nieve que está sobre las plataformas continentales sobre la tierra, al derretirse va hacia el mar y esto hace que suba el nivel del mar.</i>	Justificación, respaldo y conclusión	AG-EX
Carlos	<i>¿Alguien quiere explicarlo mejor?</i>	Desafío	AG-DL
Cristian	<i>No, está bastante claro, ¿no? Creo que sí.</i>	Acuerdo	AG-PS

Figura 4.5.10. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de científico - tecnológica, sin la intervención del profesor, después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.3.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.5.11 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de cuatro miembros en la respuesta a la cuestión 4.

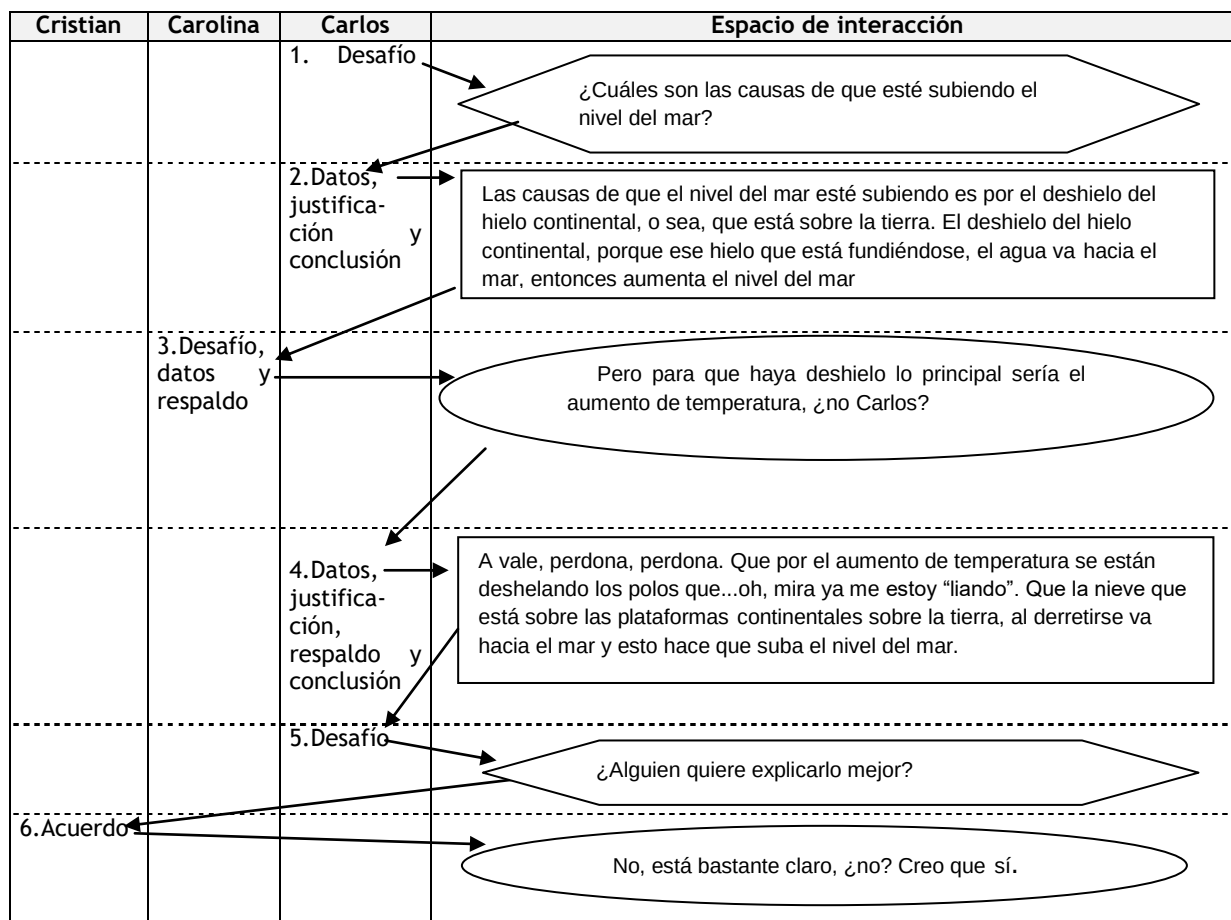


Figura 4.5.11. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en el coloquio dirigido por el profesor del grupo clase de la modalidad científico - tecnológico

4.5.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.3.12 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo del grupo clase argumentando bajo la dirección del docente para dar respuesta a la cuestión 4.

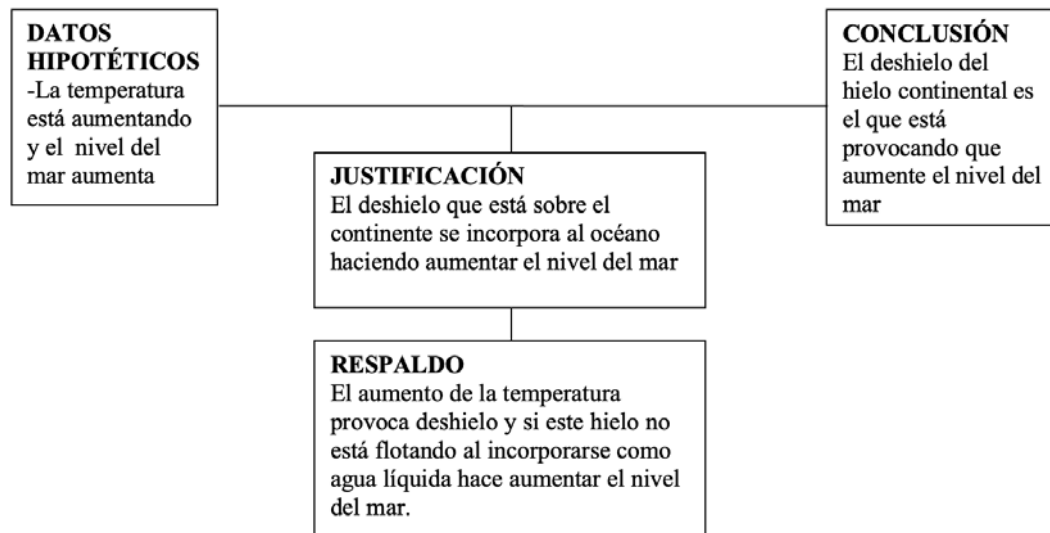


Figura 4.5.12. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducido y dirigido por el profesor del grupo clase de la modalidad científico-tecnológico.

4.5.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

Los estudiantes sin la intervención del profesor han resultado ser muy ágiles reconstruyendo los elementos claves de la argumentación obtenida mediante el discurso conducido por el docente en el coloquio sobre la misma cuestión desarrollada tres meses antes. Este grado de competencia posiblemente resulte del procesamiento profundo (Monereo et al., 2001) que logró desarrollar el profesor tres meses antes ante las ideas alternativas que encontró en la argumentación del grupo clase. El profesor tres meses antes realizó un esfuerzo grande para relacionar el deshielo con el cambio climático que es posible que haya dejado la modelización que esté dando ahora estos frutos en la interpretación. De aquella, generando conflictos cognitivos, sobre todo en la comparación del deshielo de Ártico y del Antártico, aplicando el modelo de hielo que apoya en el fondo del recipiente o que flota, parece que dejó elementos claves en la estructura cognitiva de los estudiantes.

De los seis voluntarios del mismo grupo clase que participan ahora en este nuevo estudio de caso, Carlos fue el que más participó tres meses antes en los 80 minutos de la argumentación dirigida por el profesor, y ahora en este equipo parece asumir estrategias del docente; en esta cuestión, una vez más, lanza el reto para iniciar la co-construcción de la argumentación para dar respuesta a la cuarta cuestión. El avance de Carlos para cerrar la argumentación fue relevante y, aunque explícitamente no relacionó el deshielo con el calentamiento global, un aspecto clave para abordar este impacto del cambio climático, sí que al ser interpelado por Carolina relaciona el deshielo con el aumento de temperatura, que Carolina parece tener claro, y que, junto con Carlos, logran desarrollar este discurso bajo la categoría consensual (Hogan et al., 2000). El respaldo del cambio del estado lo aportó Carolina, lo que admite Carlos e incorpora en su argumentación que quedó bastante bien formulada y sintetizada.

Al igual que ocurrió con la argumentación del profesor, tampoco salió en esta argumentación la relación del aumento del nivel del mar debido a la dilatación térmica del océano. Esto es lógico, pues no había salido en ningún momento en el coloquio conducido por el docente, y como se comentó en la discusión sobre la respuesta a este apartado en el caso 3 el docente perdió una buena oportunidad para introducir este segundo factor sobre la subida del nivel del mar, que se demanda en el procesamiento profundo necesario para una buena modelización escolar sobre este impacto del cambio climático.

Así que, de este análisis, se deduce la necesidad de un mejor diseño de didáctico de la exposición, lo que permite concluir del interés de este tipo de investigación para retroalimentar los materiales didácticos utilizados como recursos, a la vez que pone de manifiesto su relevancia en la argumentación que conduce a procesos de aprendizaje significativos.

Por lo demás, tres meses después, se observa una evolución de las representaciones mentales de partida en la argumentación sobre esta cuestión en el tercer estudio de caso. En ese sentido, se detecta un resultado positivo que se intuye atribuible a la búsqueda de procesamiento por parte del docente tres meses antes en la extensa argumentación relativa a las causas del aumento del nivel del mar. Eso podría explicar que ahora los estudiantes se sientan seguros en su argumentación autónoma sin presencia del docente en el aula. Este equipo de seis estudiantes no expresa los efectos de la dilatación térmica, lo que no sorprende al no ser incluido en la modelización desarrollada tres meses antes. La ausencia de la consideración de los efectos de la expansión térmica por aumento de la temperatura del mar es una dificultad de aprendizaje conocida y ha sido descrita por varios autores como un agente responsable del aumento del nivel del mar (Sheparson et al., 2017). Por tanto, es necesario abordar bien este factor en las modelizaciones que se usen como modelos de ciencia escolar para la enseñanza y aprendizaje escolar del cambio climático. En esta línea se debe formular la recomendación didáctica a las editoriales de que se introduzca con eficacia didáctica este factor, responsable de más del 30% de la subida del mar, en los modelos de ciencia escolar que publican para superar la dificultad de aprendizaje identificada por Choi et al. (2010) en los libros que analizaron.

En este estudio de caso los estudiantes consideran que la contribución del deshielo de los polos solo se debe el deshielo del hielo situado en la Antártida y en Groenlandia, sin atribuir efectos a la gran masa de hielo flotante sobre el Polo Norte, lo que parece mostrar la eficacia de la modelización generada en la argumentación para responder a esta cuestión conducida en el docente en el grupo de clase en el que participaron 3 meses antes estos 6 estudiantes. Por eso, todo parece que este modelo de ciencia escolar a este nivel queda retenido como modelo mental en la memoria a largo plazo de estos estudiantes. Por tanto, parecen superadas en los modelos mentales de estos estudiantes las ideas alternativas relativas a la influencia del cambio climático en el nivel que encontraron McGinnis et al. (2017) según las cuales estarían atribuyendo de forma errónea el aumento del nivel también al deshielo de los icebergs (hielo flotante).

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la Metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación mínima de 2 puntos porque parten de hechos hipotéticos con coherencia interna. En el apartado de Justificación se le otorga la puntuación de 3 puntos, porque expresa una concordancia entre los hechos y las conclusiones con conexiones

explícitas con el conocimiento básico correcto y oportuno, a pesar de que falte la alusión a la dilatación térmica. En el apartado de Conclusión se le otorga la puntuación de 2 puntos porque, aunque se usa un apoyo acertado con coherencia para la ciencia escolar, siguen faltando referencias a la participación de la dilatación térmica que se considera relevante para la modelización que necesita la ciencia escolar.

Por tanto, se le otorga a la calidad de la argumentación 7 puntos del total sobre de los 9 puntos, la misma puntuación que se le otorgó a la argumentación de la respuesta a la misma cuestión en el coloquio dirigido por el profesor y en el que participó el grupo de clase al que pertenecen estos estudiantes.

El mapa del discurso que se representa en la figura 4.5.7 sigue un patrón de secuencia de intervención receptiva representada en la figura 3.5 de la Metodología (Hogan et al., 2000). Esto es así porque solo Carolina y Carlos hacen declaraciones sustantivas.

En cuanto al proceso de modelización se observa que se mantiene, tres meses después, ahora desde estrategias de argumentación dirigidas únicamente por el propio grupo de trabajo, un modelo de subida del nivel del mar, aunque solo debido al deshielo del hielo continental, quedando también ausente la dilatación térmica responsable de más del 30% de la subida del mar.

En cuanto a la valoración de esta modelización, aplicando la rúbrica de la tabla 3.2 se le asigna la valoración del patrón de referencia 1b (3 puntos) por la iniciativa, autonomía y rigor porque sin la intervención del docente logran expresar en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y riguroso porque falta el efecto de la dilatación térmica del agua del mar, pero es comprensible y coherente con la contribución del orden del 70% de la subida por el deshielo continental. También se le asigna la puntuación del patrón de referencia 2b (3 puntos) porque a lo largo de la argumentación se consigue una concordancia aceptable entre el deshielo continental y la subida del nivel del mar. Por tanto, se le asigna al proceso de modelización la puntuación de 6 puntos del total de los 8 puntos que se pueden otorgar aplicando la rúbrica de la tabla 3.2.

4.5.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

4.5.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5

La figura 4.5.13 recoge la categorización del discurso de co-construcción de argumentos por parte del equipo de 6 estudiantes que dan respuesta a la quinta cuestión que se formuló para buscar relaciones entre el uso de carbón y petróleo con el aumento de la temperatura y que tres meses antes fue respondida desde la argumentación del conjunto del grupo clase.

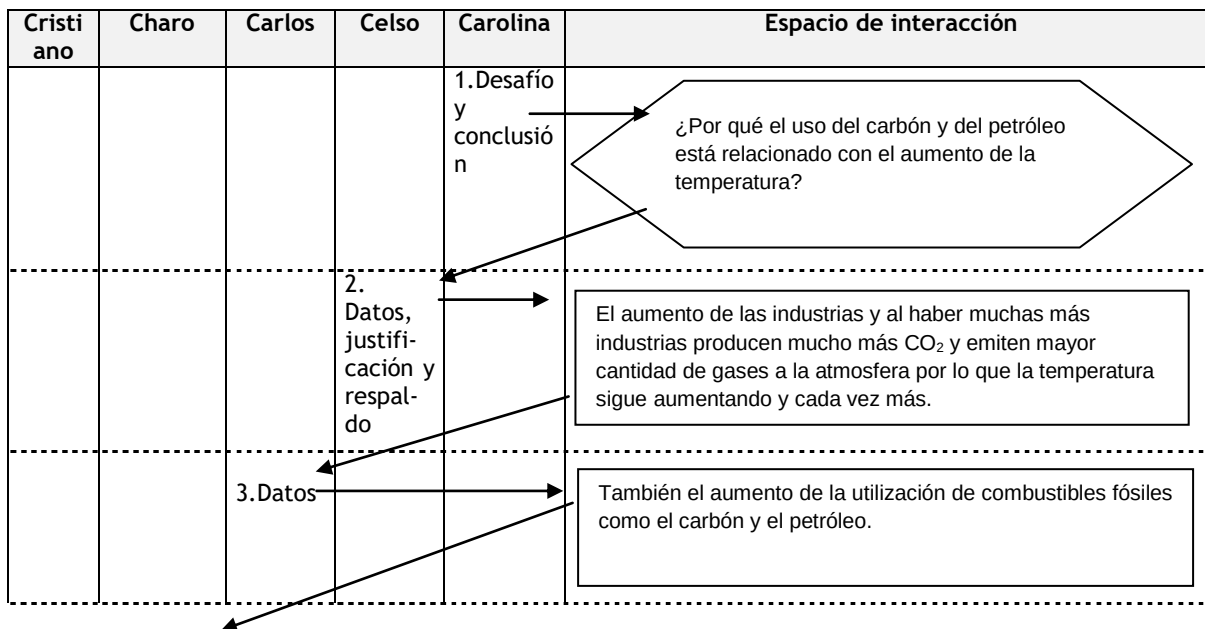
Carolina	<i>¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?</i>	Desafío	AC-DL
Celso	<i>El aumento de las industrias y al haber muchas más industrias producen mucho más CO₂ y emiten mayor cantidad de gases a la atmosfera por lo que la temperatura sigue aumentando y cada vez más.</i>	Datos, Justificación y conclusión	AC-EX

Carlos	<i>También el aumento de la utilización de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo.</i>	Datos	AC-EX
Charo	<i>Porque se emplean como carburantes para los coches y demás y entonces eso provoca emisiones de CO₂ lo cual en el fondo va.... es el causante del aumento de temperatura cuando está en gran exceso.</i>	Justificación, Respaldo y conclusión	AC-EX
Carolina	<i>Yo pienso que... está relacionado porque el carbón y el petróleo para poder utilizarlos se realiza una combustión y toda combustión emite los gases (invernadero) como el CO₂ y por eso es por lo que está relacionado con el aumento de la temperatura.</i>	Justificación, Respaldo y Conclusión	AG-DL
Cristiano	<i>Sí.</i>	Acuerdo	AA-PS
Carlos	<i>Sí, sí, tienes toda la razón.</i>	Acuerdo	AA-PS

Figura 4.5.13. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.5.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.3.14 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso en la respuesta a la cuestión 5 por el equipo de 6 miembros que 3 meses antes respondieron a la misma cuestión, formando parte del coloquio dirigido al grupo clase y conducido por el docente.



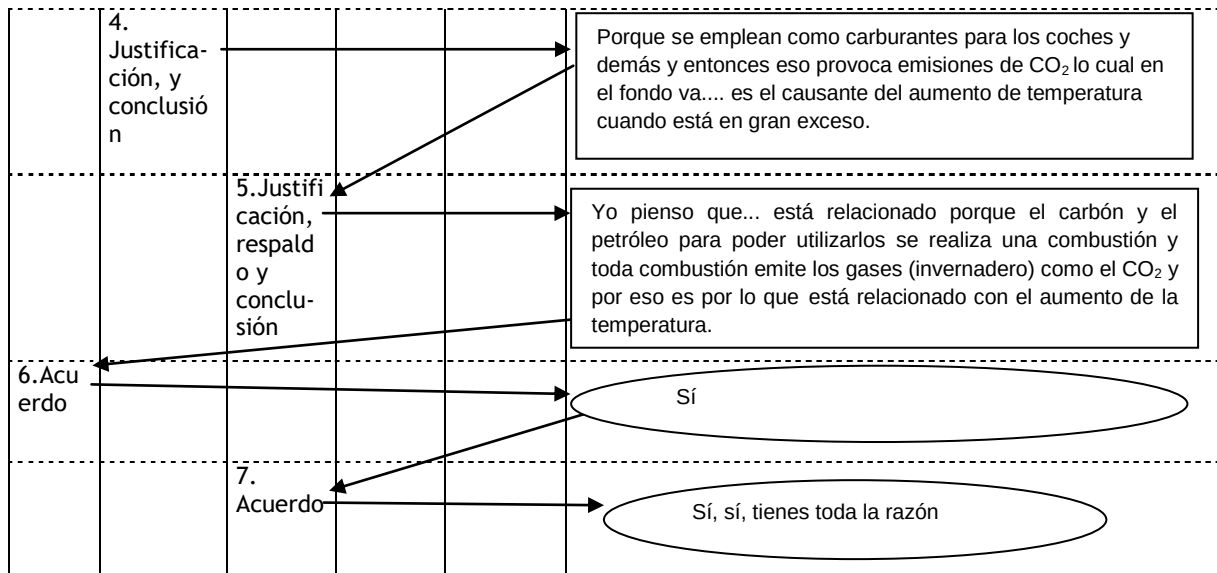


Figura 4.5.14. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor y dirigida al grupo clase de la modalidad científico - tecnológica.

4.3.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.3.15 se representa en forma de esquema de Toulmin el argumento desarrollado por el equipo de 6 miembros del grupo de clase de la modalidad científico tecnológico que 3 meses antes habían participado en la generación del discurso obtenido por el coloquio dirigido por el profesor a todo el grupo clase para responder a la misma quinta cuestión.

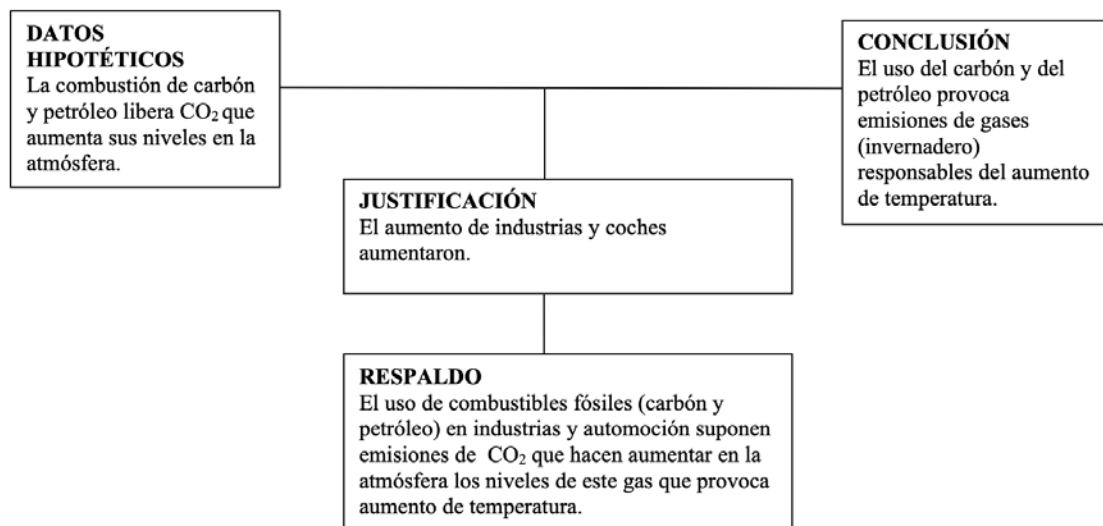


Figura 4.5.15. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes del grupo de clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del tercer caso.

4.5.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

En el discurso generado para responder a esta cuestión implica a cinco de los seis estudiantes y la argumentación fluyó con agilidad hacia una conclusión acertada desde el punto de visto científico. Esta facilidad para llegar a la conclusión parece evidenciar la eficacia del proceso de los procesos de aprendizaje derivados de la argumentación sobre esta cuestión conducida por el docente tres meses antes. Sin embargo, en relación al abordaje de la respuesta esta misma pregunta en el coloquio conducido por el profesor tres meses antes, ahora no surge el respaldo del efecto invernadero. La única alusión que aparece al efecto invernadero, si existe alguna, es implícita, cuando Carolina cita los gases derivados de la combustión de carbón y petróleo, que, en ese contexto del discurso, puede entenderse como gases invernadero, tal y como se expresa con los paréntesis.

Como de aquella, Celso sigue siendo el primero en intervenir aportando también en primera intervención, en este caso respondiendo al reto formulado por Carolina, que para esta cuestión asumió el rol del docente en la respuesta dada por el grupo de clase tres meses antes. Celso vuelve dar datos, respaldo y justificaciones que construyen una argumentación coherente, pero como ocurrió en su intervención de tres meses antes, quedan restringidas a las emisiones industriales. Charo amplía el conocimiento básico incorporando otras fuentes de emisiones en las que cita expresamente las emisiones de los coches, que vienen a representar una parte importante de las emisiones difusas derivadas del uso de combustibles fósiles obtenidos del refinado del petróleo.

Al igual que en la respuesta que dieron tres meses antes, formando parte de aquella discusión del grupo clase, aquí tampoco se hace referencia explícita a la retención del dióxido de carbono de la radiación calorífica o infrarroja emitida por la superficie terrestre que absorbe la luz por parte del dióxido de carbono. La persistencia de esta limitación en la modelización se puede interpretar desde la ausencia de la imposibilidad con la que se encontró el docente para abordar en profundidad el tipo de radiación retenida. Siendo la argumentación de ahora una expresión de logros de aprendizaje de tres meses antes, es lógico que siga sin poseer la modelización adecuada para entender ese papel de los gases efecto invernadero en la retención del calor emitido por la superficie terrestre.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de Hechos, los estudiantes se apoyan en hechos hipotéticos con coherencia científica, si bien siguen sin explicitar la retención de luz solar por el dióxido de carbono y la relación de este gas sobre el efecto invernadero, motivo por el que se le otorga 2 puntos. También se le otorga 2 puntos por la Justificación, pues existe una concordancia aceptable de los hechos con las conclusiones. Por último, se le otorga también 2 puntos porque del enunciado se desprende que el uso del carbón y el petróleo provocan el aumento de temperatura y mencionan fuentes industriales y también fuentes difusas.

Por tanto, la valoración global de la calidad de la argumentación queda ubicada en 6 puntos del total de 9 que corresponden a la valoración máxima. Esa fue la puntuación otorgada también a la argumentación de la respuesta a la misma cuestión en el tercer estudio de caso.

Con respecto a la categorización del mapa del discurso se ubica en la categoría Colaborativa (Hogan et al., 2000) porque en su desarrollo contribuyen 5 de los 6 miembros

Esto significa un avance del grado de participación en relación con la misma respuesta en el estudio de caso 3, sobre todo porque en aquella respuesta en el coloquio dirigido por el docente, participaban los 27 estudiantes del grupo científico tecnológico.

En cuanto a la modelización, la respuesta se comporta como un evento en el que se relaciona claramente la combustión del carbón y el petróleo como principales fuentes de emisiones causantes del cambio climático, como ocurrió en el estudio de caso 3, motivo por el que se evidencia una retención eficaz de la modelización construida de aquella. Como hace tres meses, tampoco ahora se visualiza una relación del problema con la alteración del ciclo del carbono. Ya en el caso 3 se discutió el aparente poco éxito de los esfuerzos del docente por conseguir un procesamiento profundo a través de analogías y símiles sobre la descomposición de cadáveres, lo que es coherente con que ahora tampoco aparezca esa representación mental en la argumentación del equipo de 6 estudiantes. Estos resultados del análisis del proceso de modelización siguen recomendando situar las emisiones en la alternación del ciclo de carbono por la acción antropogénica en las implicaciones didácticas derivadas de este caso.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la figura 3.2 se le asigna 3 puntos (patrón de referencia 1b) porque en el argumento expresan un modelo que no es suficientemente claro porque no entra en la fundamentación del efecto invernadero, pero tiene coherencia con ese modelo. Por la evolución y la madurez se le otorga la puntuación del patrón de referencia 2b (3 puntos) porque existe una concordancia aceptable entre el aumento de temperatura y el incremento de los niveles de dióxido de carbono. Por tanto, se le otorga un total de 6 puntos del total de 8 puntos que se asignan siguiendo la rúbrica de la figura 3.2.

4.5.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

4.5.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6

La figura 4.5.16 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica argumentando sobre la naturaleza no renovable del carbón y del petróleo, de los que derivan la mayoría de las emisiones de gases efecto invernadero.

Carolina	<i>¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?</i>	Desafío	AG-DL
Cristiano	<i>Porque su formación llevó millones de años y, por lo tanto, no podemos generar carbón ni petróleo de un día para otro.</i>	Datos, Justificación	AG-EX
Carlos	<i>Mira, porque en dos siglos, desde la Revolución Industrial, casi se están agotando y para su formación tardó millones de años.</i>	Datos y Justificación	AG-EX
Carolina	<i>Porque se consumen más rápido de lo que se producen, por eso se consideran no renovables y ahora estamos consumiendo todos y en cambio no tenemos ya más, por eso tenemos que optar por las energías renovables.</i>	Justificación, Respaldo y Conclusión	AG-EX

Figura 4.5.16. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológica sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.5.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.5.17 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 6 a la que 3 meses antes respondieron, de aquella formando parte de los 27 miembros del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica, mediante el coloquio dirigido por el docente.

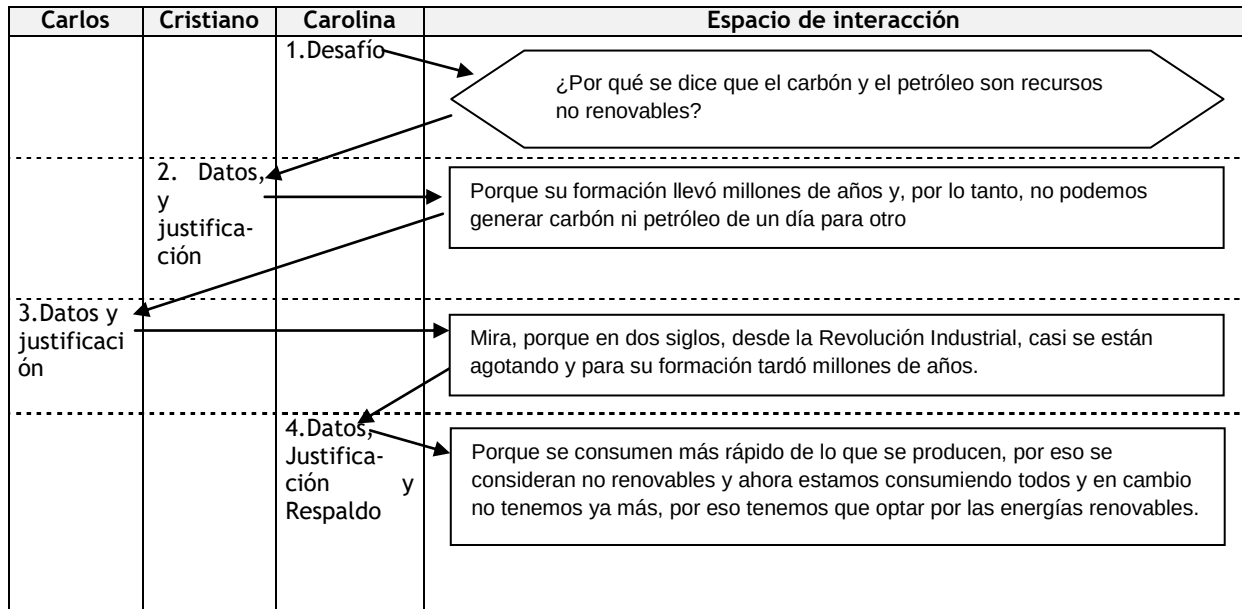


Figura 4.5.17. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en el grupo clase de la modalidad científico - tecnológica,

4.5.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.3.18 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 6.

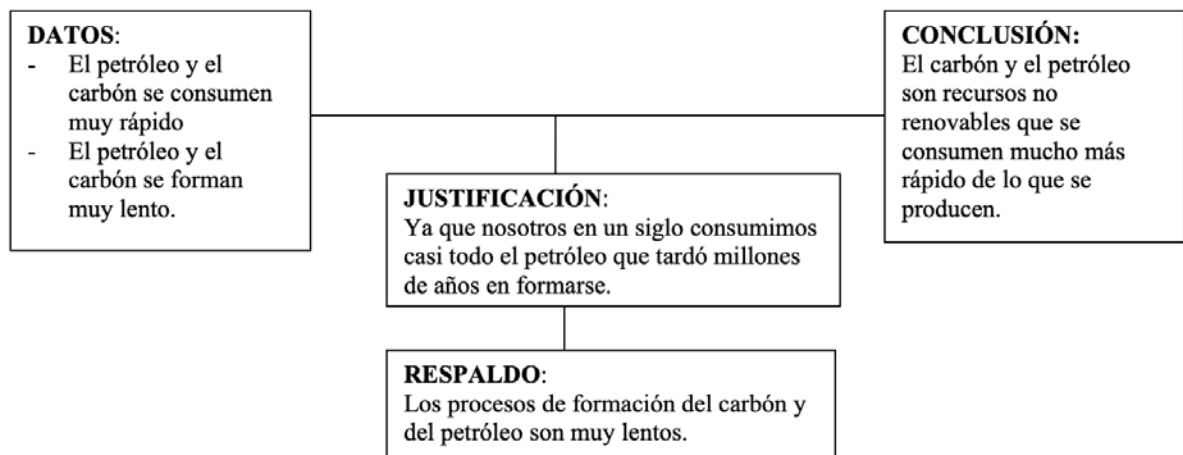


Figura 4.5.18. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en el coloquio dirigido al grupo clase y conducido por el docente objeto de estudio del tercer caso.

4.5.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

Del análisis de la argumentación expresado en el esquema de Toulmin de la figura 4.5.18 no se desprenden diferencias significativas en relación a la argumentación sobre la respuesta a esta misma cuestión en el coloquio conducido por el profesor.

Aquí asumió el rol iniciador Carolina, y fueron Cristiano y Carlos quienes aportaron el conocimiento básico relativo a los procesos geológicos, situando este en intervalos de tiempo geológico. Pero curiosamente Carlos no hace referencia a la intervención de fosas y de bacterias, que vinculaban esas expresiones a un modelo mental implícito de fosilización que expresó en el coloquio del grupo clase con el profesor. Posiblemente de aquella encontró este recurso en su estrategia de argumentación siguiendo el reto que formuló el docente de búsqueda de un procesamiento más profundo para entender la necesidad de tiempos geológicos en su formación.

Sin embargo, aquí aparecen referencias claras a las velocidades de formación y de consumo que el profesor tuvo que esforzarse para conseguir meses atrás, buscando referencias mediante retos dirigidos a que los estudiantes se implicaran el procesamiento profundo necesario. Por eso este avance puede ser una evidencia de que aquella argumentación generó aprendizajes con la profundidad necesaria para operar en la memoria a largo plazo y poder aplicar en respuestas a cuestiones como estos conocimientos relativos a estos aspectos claves. En este caso, Carolina incluso hace una transferencia de este concepto para fundamentar la necesidad de fomentar el uso de las energías renovables. Aunque tres meses antes Carlos hizo las aportaciones más sustantivas, que incluso parecían tener detrás representaciones mentales implícitas del proceso de fosilización que estuvo detrás de esos tiempos geológicos, que acertadamente, dieron como datos hipotéticos relevantes para explicar la no renovabilidad de estos recursos fósiles. De aquella no hizo referencias a la enorme velocidad de combustiones en breves tiempos geológicos situados en una escala histórica diferente a la formación por fosilización en tiempos geológicos. Por tanto, parece que el docente consiguió tres meses antes mantener en la memoria al menos a medio plazo y posiblemente también a largo plazo la compresión de su no renovabilidad por esta diferencia de escalas en los dos tiempos: formación y consumo. Con su nuevo reto, el profesor consigue que se concluya la renovabilidad porque la velocidad de consumo es mucho más elevada que la de producción. En el sentido de este avance se puede concluir la necesidad de incorporar en los planteamientos didácticos esta comparativa de forma muy intuitiva, teniendo presente también evidenciar la participación de las emisiones difusas emitidas por el transporte que suelen ser bastante desconocidas por los estudiantes, en la línea del sesgo industrialista encontrado por Heras (2013), y que se manifiesta incluso en estudios universitarios de carácter científico tecnológico (Gómez y Moncada, 2015).

En relación con la evaluación de calidad del discurso, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los Hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 2 puntos porque introduce datos relevantes como la necesidad de tiempos geológicos para su formación y los tiempos rápidos de consumo. A la Justificación también se le otorga 2 puntos porque establecen una concordancia aceptable con los hechos y dan las claves de sus consecuencias sobre el cambio climático y su no renovabilidad al afirmar en tiempos históricos de un siglo se consume lo que llevó millones de años formarse, y por tanto medibles en la escala geológica. También la Conclusión es merecedora de los 3 puntos porque la conclusión encierra un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento y que

se expresa en el cambio de escala entre los tiempos de formación medibles en los tiempos geológicos y los tiempos de consumo, medidos en los tiempos históricos de menos de dos siglos.

Por tanto, la puntuación global que se le otorga al argumento es de 7 puntos sobre un total de 9 puntos. Esta es la misma puntuación otorgada a la argumentación en la respuesta a esta pregunta en el caso 3.

En cuanto a la categorización del mapa de discurso obtenido, este se corresponde con la representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría colaborativa (Hogan et al, 2000), porque interviene el 50% del grupo (Carolina, Carlos y Cristiano) haciendo aportaciones sustantivas en relación a la conceptualización en el que con tres intervenciones categóricas de tres estudiantes diferentes se llega en poco tiempo a relacionar los hechos contemplados con una conclusión bastante bien justificada.

En lo que respecta al análisis de la modelización, se identifica un evento de la modelización que sitúa bien la formación del petróleo y del carbón en los tiempos geológicos. Apoyándose en estos datos justifica debidamente la no renovabilidad del carbón y del petróleo, pero a diferencia de la modelización desarrollada en el estudio de caso 3, no entra en los factores de presión ni en la participación de los microorganismos como factores implicados en el proceso de formación y que sí aparecieron en el estudio de caso tres. Por tanto, para que se comprenda bien la no renovabilidad de estos dos recursos, que además se relacionan con las principales emisiones, interesa introducir su formación en los procesos de enseñanza y aprendizaje vinculados al cambio climático.

Con respecto a la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la tabla 3.2 se le otorga la puntuación del patrón de referencia 1b (3 puntos) porque no necesitan de la participación del docente para expresar un argumento que, aunque no llega a la suficiente claridad en el proceso geológico de formación de petróleo y carbón, si es comprensible y coherente por cuando que establece la no renovabilidad en las diferentes escalas en el consumo en los últimos dos siglos con la geológica de formación. Por la evolución y madurez se le otorga la puntuación del patrón de referencia 2b (3 puntos) porque, aunque no le falta los procesos de fosilización, usa los hechos hipotéticos de las diferencias de escalas temporales para fundamentar la conclusión.

Por tanto, se le asigna la puntuación de 6 puntos del máximo que se le puede otorgar mediante la rúbrica de la figura 3.2.

4.5.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

4.5.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7

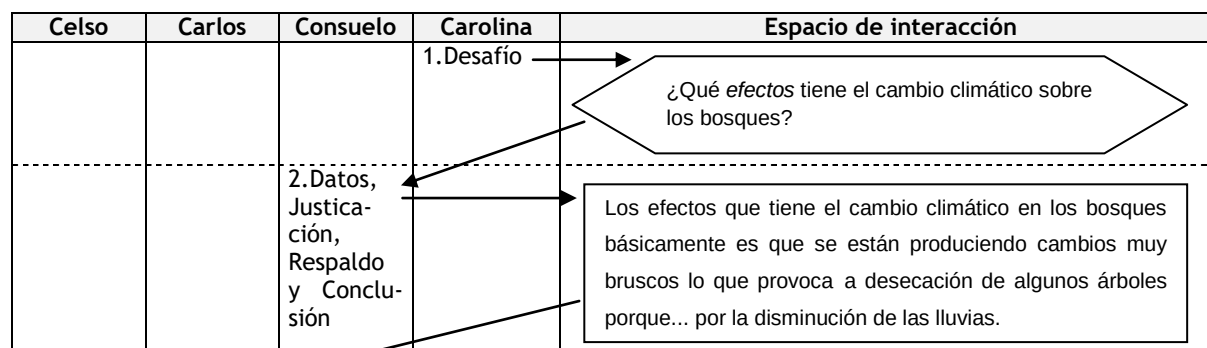
La figura 4.5.19 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes del grupo clase de la modalidad científico – tecnológica argumentando sobre los efectos que tiene el cambio climático sobre los bosques formulada en la séptima cuestión sin intervención del docente y que tres meses antes respondieron a la misma cuestión formando parte del grupo clase de ciencias y tecnología durante el coloquio dirigido por el profesor.

Carolina	<i>¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?</i>	Desafío	AG-DL/PR
Consuelo	<i>Los efectos que tiene el cambio climático en los bosques básicamente es que se están produciendo cambios muy bruscos lo que provoca a desecación de algunos árboles porque... por la disminución de las lluvias.</i>	Justificación y Conclusión	AG-EX
Carlos	<i>Por ejemplo, con el cambio climático aumenta la temperatura y así aumenta también el riesgo de incendios. Además, con el aumento de la temperatura los insectos que transmiten enfermedades pueden llegar más al Norte y así, por ejemplo, insectos que afectaban a las plantas de África pueden llegar por ejemplo ahora a Europa.</i>	Datos, Justificación y Respaldo	AG-EX
Carolina	<i>Estoy de acuerdo. Yo pienso que lo más importante es la posible desertización por la pérdida de humedad de los bosques, el cambio debido a este aumento de temperatura, el cambio del ecosistema del bosque, y también lo que dice Carlos, las plagas que es muy importante. ¿Cómo va a afectar el cambio climático en relación con la humedad - aridez?</i>	Datos, Justificación, Respaldo, Conclusión y Desafío	AG-EX/DL/PR
Celso	<i>El aumento de las temperaturas provoca que descienda el nivel de humedad provocando una mayor aridez en los terrenos por lo que la vida en esos lugares es mucho más difícil</i>	Desafío	GC-CP

Figura 4.5.19. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de científico - tecnológica sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor y dirigido a los 27 estudiantes de este grupo clase.

4.5.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.5.20 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros de la modalidad científico – tecnológica en la respuesta a la cuestión 7 que ya contestaron 3 meses en el coloquio dirigido por el profesor al grupo clase de la modalidad de ciencias y tecnología.



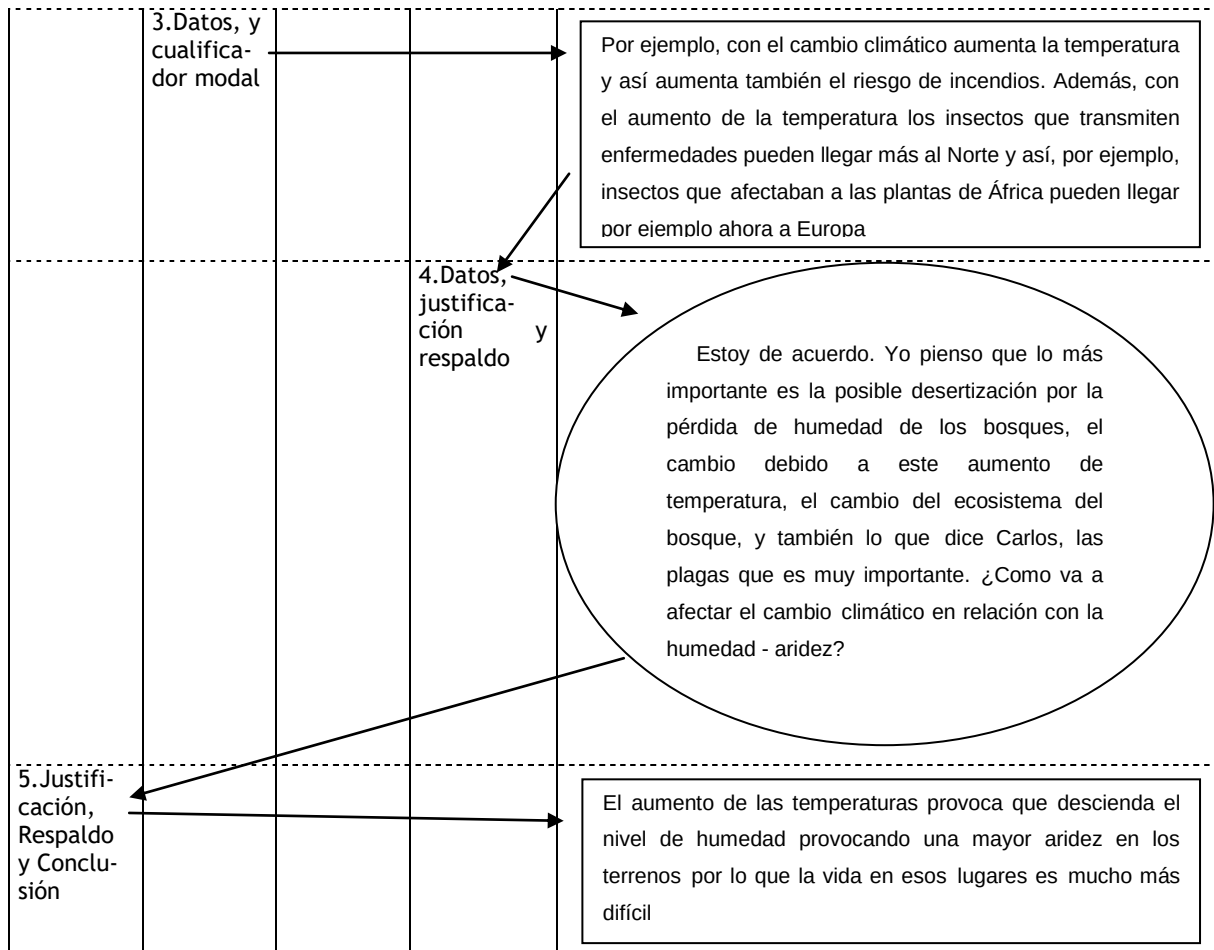


Figura 4.5.20 Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor y dirigido al grupo clase de la modalidad científico - tecnológica,

4.5.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.5.21 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 7 y que han respondido 3 meses antes a la misma cuestión formando parte del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica al que dirigió el docente el proceso de generación del discurso con la respuesta argumentada a esta cuestión 7.

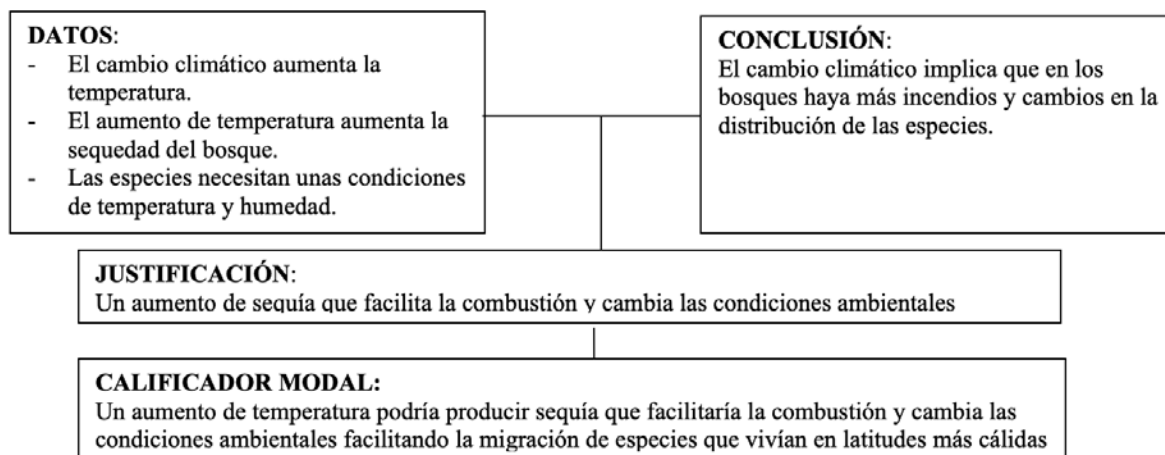


Figura 4.5.21. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes del grupo clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del tercer caso.

4.3.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

Aquí aparecen aspectos que parecen reflejar resultados del esfuerzo del profesor en la argumentación del discurso relativo a la contestación a la misma cuestión en coloquio conducido tres meses antes y dirigido a la totalidad del grupo de clase de la modalidad científico-tecnológica en la que participan estos 6 estudiantes.

La variedad de matices y la agilidad en la construcción del discurso pueden ser una muestra de la eficacia de los significativos niveles de realización obtenidos a partir de las estrategias de argumentación en los procesos de enseñanzas aprendizaje desarrolladas tres meses. Sorprende que sin que los estudiantes se hayan sometido a ningún proceso memorístico, después de tres meses, relacionan todos los elementos claves del discurso que logró armar el profesor, lo que sería indicador de la eficacia del procesamiento profundo que buscó de aquella.

Al igual que ocurrió hace tres meses, quedaron sin mencionar los efectos del cambio climático en las migraciones altitudinales. Pero aquí se introducen aspectos como los efectos de la sequía sobre especies vegetales, se sitúan las plagas en los insectos, se mencionan ejemplificadas con coherencia riesgos de extensión latitudinal de plagas, el aumento de riesgos de incendios y se anuncia de forma clara y precisa los riesgos de desertificación que cita el informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

En relación con la evaluación de calidad de la argumentación, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, a los Hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 3 puntos, un punto más que en la evaluación de la respuesta del grupo clase 3 meses antes, porque ahora se explicitan efectos sobre el suelo que de aquella aparecía de forma implícita. Aparecen bien estructurados los hechos clave para hablar de desertificación. La Justificación se valora con 2 puntos porque se mantiene en los mismos términos que la

lograda 3 meses antes por el grupo clase. La Conclusión se valora en 3 puntos porque queda enunciada de forma explícita y clara a nivel de ciencia escolar relacionando los hechos con las conclusiones desde el conocimiento básico de la incidencia del cambio climático en la desertificación.

Por tanto, el argumento queda valorado en 8 puntos sobre un total de 9. Así, obtiene 2 puntos por encima de la valoración de lo conseguido 3 meses antes porque el procesamiento profundo logrado consiguió un nivel de realización elevado que deja un argumento de calidad.

En cuanto al patrón que sigue el flujo del discurso, también se logra un patrón más participativo que el conseguido 3 meses antes, a pesar de que de aquella podían hacer aportaciones 27 estudiantes. De aquella solo dejaron aportaciones significativas Celia y Constantino, por lo que el patrón que resultó fue de la categoría Receptiva (Hogan et al., 2000) por cuanto que contribuyen con las aportaciones sustantivas principalmente dos estudiantes. En este caso, en el que solo participan seis estudiantes, cuatro de ellos dejaron aportaciones sustantivas: Celso, Carlos, Consuelo y Carolina, por tanto, el patrón resultante es Colaborativo. El hecho de que aquí participaran cuatro de los seis estudiantes que formaban el grupo de trabajo y que ninguno haya intervenido antes, deja la reflexión de si la implicación de un grupo clase al completo en la argumentación, mediante un coloquio dirigido por el docente, puede bloquear la expresión de aportaciones valiosas de estudiantes que se inhiben en un contexto de tantos participantes. Aunque también pudo ocurrir que el docente no tuviese la paciencia suficiente de esperar por esas aportaciones, porque tuvo la tendencia a interpelar directamente a determinados estudiantes demasiado rápido.

En relación al proceso de modelización, siguiendo el esquema de la figura 3.10 de la Metodología, se identifica un proceso de modelización de los efectos del cambio climático en los bosques en términos de aumentos de sequías, aumento de incendios y de plagas. En comparación con lo analizado sobre la modelización de tres meses antes, aquí sí explicitan con claridad el concepto de desertificación del que no se cita nada ni se ponen ejemplos. Esta revisión del proceso de modelización necesita de procesos conocidos como enriquecimiento y no tanto de un cambio conceptual (Chi, 2008) porque de esta argumentación se extrae un modelo de ciencia con muchos elementos que le dan coherencia para su uso en ciencia escolar. En el proceso de revisión para conseguir un modelo útil en la ciencia escolar parece interesante buscar ejemplos y analogías como puede ser los riesgos de erosión que pueden suponer el posible aumento de incendios con el cambio climático.

En relación a la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la tabla 3.2 se le asigna la puntuación del patrón 1a (4 puntos) porque de forma autónoma, sin la intervención docente, logran expresar en el argumento un modelo explícito claro por iniciativa del grupo. En cuanto a la evolución y madurez, aunque le faltó entrar en relaciones con la desertización en contextos como los de erosión de bosques por incendios, llegan a un modelo de concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones por lo que se le asigna la puntuación del patrón de referencia 2b (3 puntos).

Por tanto, se le asigna una puntuación global de 7 puntos del máximo de 8 puntos que se pueden asignar aplicando la rúbrica de la figura 3.2.

4.5.16 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión

4.5.16.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 8

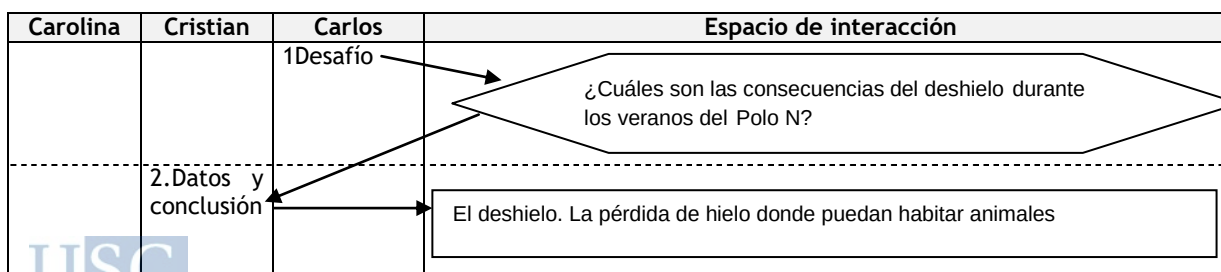
La figura 4.5.22 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes argumentando sobre las consecuencias del deshielo del polo Norte que se formula en la octava cuestión sin intervención del docente y que tres meses antes, formando parte del grupo clase completo de la modalidad científico-tecnológica, respondieron a la misma cuestión durante el coloquio dirigido por el profesor

Carlos	<i>¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo Norte?</i>	Desafío	AG-DL/PR
Cristian	<i>El deshielo. La pérdida de hielo donde puedan habitar animales.</i>	Datos y conclusión	AG-EX
Carolina	<i>La migración de los animales.</i>	Conclusión	AG-EX
Cristian	<i>La migración de los animales y, por lo tanto, estos animales tienen que recurrir a otras zonas donde poder habitar o simplemente morir ahogados, no les queda otra.</i>	Calificador modal	AG-EX
Carlos	<i>También las rutas comerciales pueden pasar por allí porque... se no hay hielo entonces pueden pasar por allí.</i>	Datos, Justificación y Conclusión	AG-EX
Carolina	<i>Se produciría un cambio en el hábitat de los animales, ¿no? Aumentaría el turismo y estarían variando la vida de los animales.</i>	Justificación, Calificador modal y Respaldo	AG-EX

Figura 4.5.22. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la octava cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico- tecnológico sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.5.16.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 8

En la figura 4.3.23 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de los 6 miembros de la modalidad científico – tecnológica en la respuesta a la cuestión



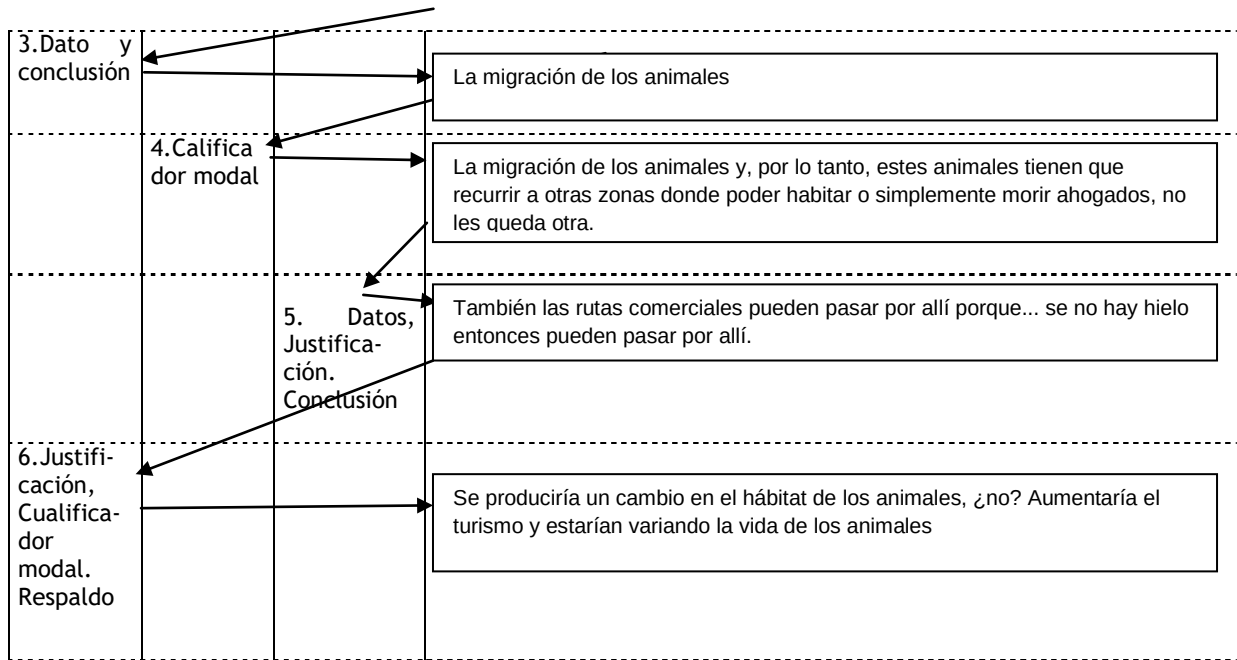


Figura 4.5.23. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la octava cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes que respondieron a la misma cuestión formando parte del grupo de clase de la modalidad científico - tecnológica en la argumentación conducida de aquella por el profesor.

4.5.16.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 8

En la figura 4.5.24 se representa el esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros de la modalidad científico – tecnológica en la respuesta a la cuestión 8.

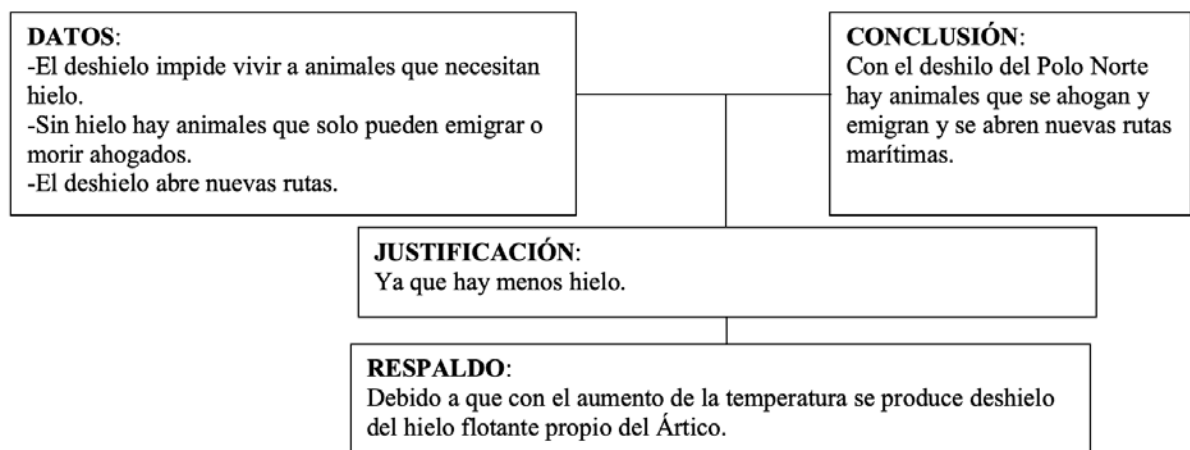


Figura 4.5.24. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la octava cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del segundo caso.

4.3.17 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la octava cuestión

El análisis de la respuesta a la cuestión octava en este quinto estudio de caso también muestra los avances que ha dejado el aprendizaje generado tres meses antes con las aportaciones del profesor. De aquella los estudiantes estaban bloqueados por ausencia de conocimientos sobre el polo el Norte. El profesor recurrió a los documentales y a los datos y recuerdos sobre la vida de osos polares y focas.

En esta nueva respuesta a la cuestión octava en el equipo formado por 6 de los 27 estudiantes del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica parece que ahora abordan la argumentación con más generalidad, pues ya no recurren a los ejemplos del oso polar o la foca que salió en la clase anterior, sino que ya se refieren en términos genéricos a animales.

Esta tendencia a la generalización, simplificación agilidad y eficacia en la reconstrucción de los argumentos tres meses después y sin la intervención del docente parece ser una tendencia general en esta segunda fase de argumentación sobre las mismas cuestiones. En este sentido, puede que se haya obtenido algún avance en la dirección del procesamiento profundo que querían conseguir el profesor y su colega que actuó como observador, en la respuesta a esta cuestión en el grupo clase de estos estudiantes en el coloquio desarrollado 3 meses antes.

El esquema de Toulmin de la figura 4.5.16 sigue mostrando una representación de una argumentación simple, centrándose solo en la migración de las especies. Pero, sobre todo, razonar sobre impactos sobre el Polo implica hacerlo sobre contextos totalmente desvinculado de vivencias (Heras, 2013). Solo argumentan en términos de impactos sobre las especies y no hacen ninguna referencia a los efectos del deshielo de Groenlandia sobre la subida del nivel del mar, posiblemente porque tenga la representación mental de que todo el hielo del Polo Norte sea flotante. Se trata por tanto de una argumentación debilitada por el sesgo geográfico (Heras, 2013) por cuanto que la información sobre las consecuencias del cambio climático se ha situado en un escenario muy lejano. Sigue concluyéndose la recomendación didáctica de que los libros de texto y los modelos de ciencia escolar superen las dificultades encontradas en los libros de texto por Choi et al. (2010).

En lo que respecta a la valoración de lo argumentado, aplicando los patrones de referencia de la tabla 3.1 se otorga la puntuación del patrón 1b (2 puntos) porque se considera que se apoyan en evidencias de coherencia científica a pesar de que siguen bastante centrados en la representación icónica del oso polar posiblemente inducida por la aportación del docente observador tres meses antes, quien llamó la atención del grupo clase científico – tecnológico sobre este animal para situarlos en el Polo Norte y superar el bloqueo total en el que estaban. A la Justificación se le otorga 2 puntos porque consiguen una concordancia aceptable de los datos que suministran relativo a los osos polares y al deshielo y la pérdida de efectivos de osos polares. A la conclusión se le otorga 1 punto porque solo alcanzan a vincular el deshielo con el aumento de temperatura y la pérdida de osos polares, pero no se visualiza un modelo de ciencia escolar que dé una respuesta satisfactoria a la pregunta en el sentido de poder entender los efectos del deshielo en el polo Norte sobre el océano, sobre el albedo y sobre el sistema climático en general.

Por tanto, la valoración global que se le otorga a la argumentación es de 5 puntos sobre 9. Se otorga así 1 punto más que en la valoración a la argumentación de la respuesta a la misma cuestión en el caso 3.

En relación con el patrón que sigue el flujo del discurso se puede considerar de la categoría colaborativa, por cuanto que intervienen con contribuciones 3 estudiantes, lo que representa el 50% del equipo.

Con lo que respecta al proceso de modelización, siguiendo las pautas esquematizadas en la figura 3.10 del apartado de Metodología, no se visualiza en las estrategias de argumentación un proceso de modelización de interés para la ciencia escolar.

4.5.18 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión

4.5.18.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 9

La figura 4.5.25 recoge la categorización del discurso del grupo de seis estudiantes del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica argumentando sobre los posibles efectos en Galicia del deshielo en Groenlandia que se formula en la novena cuestión sin intervención del docente y que tres meses antes respondieron a la misma cuestión durante el coloquio dirigido por el profesor.

Carolina	<i>En un futuro. ¿Como afecta el aumento de temperatura en Groenlandia en las costas de Galicia?</i>	Desafío	AG-DL/PR
Charo	<i>Bueno, en Groenlandia el hielo está sobre el continente por lo que con el aumento de temperatura ese hielo va hacia el mar, así que lo que provoca el aumento de temperatura y el aumento del nivel del mar y eso también nos afecta a nosotros aquí en Galicia porque el nivel del mar también va a subir aquí.</i>	Datos Justificación, Respaldo y Conclusión	AG-EX
Carolina	<i>El aumento del nivel del mar en Galicia lo que produciría sería la inundación de las costas y produciría además un cambio en la pesca que es uno de los factores más importantes, ¿no?</i>	Datos, Calificador modal	AG-EX
Celso	<i>Al producirse el deshielo esa masa de agua va al mar, lo que cambia las corrientes marinas y hace que muchas de las especies de peces que hay en esta zona tengan que emigrar hacia otros lugares y aquí llegan otro tipo de especies con que los pescadores y marineros posiblemente no están muy acostumbrados a su pesca.</i>	Datos, Calificador modal, Justificación y Conclusión	AG-EX
Carlos	<i>Al cambiar las corrientes marinas, puede cambiar totalmente el clima, además como el hielo es agua dulce cambia también la salinidad del mar con lo que también aumenta el riesgo de mareas rojas aquí en Galicia. También con el aumento del mar las poblaciones que fueron ganando terreno al mar podrían inundarse fácilmente como en Vilagarcía, por ejemplo.</i>	Datos, Calificador modal, Justificación y Conclusión	AG-EX

Figura 4.5.25 Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico-tecnológica sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.5.18.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.5.26 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 9.

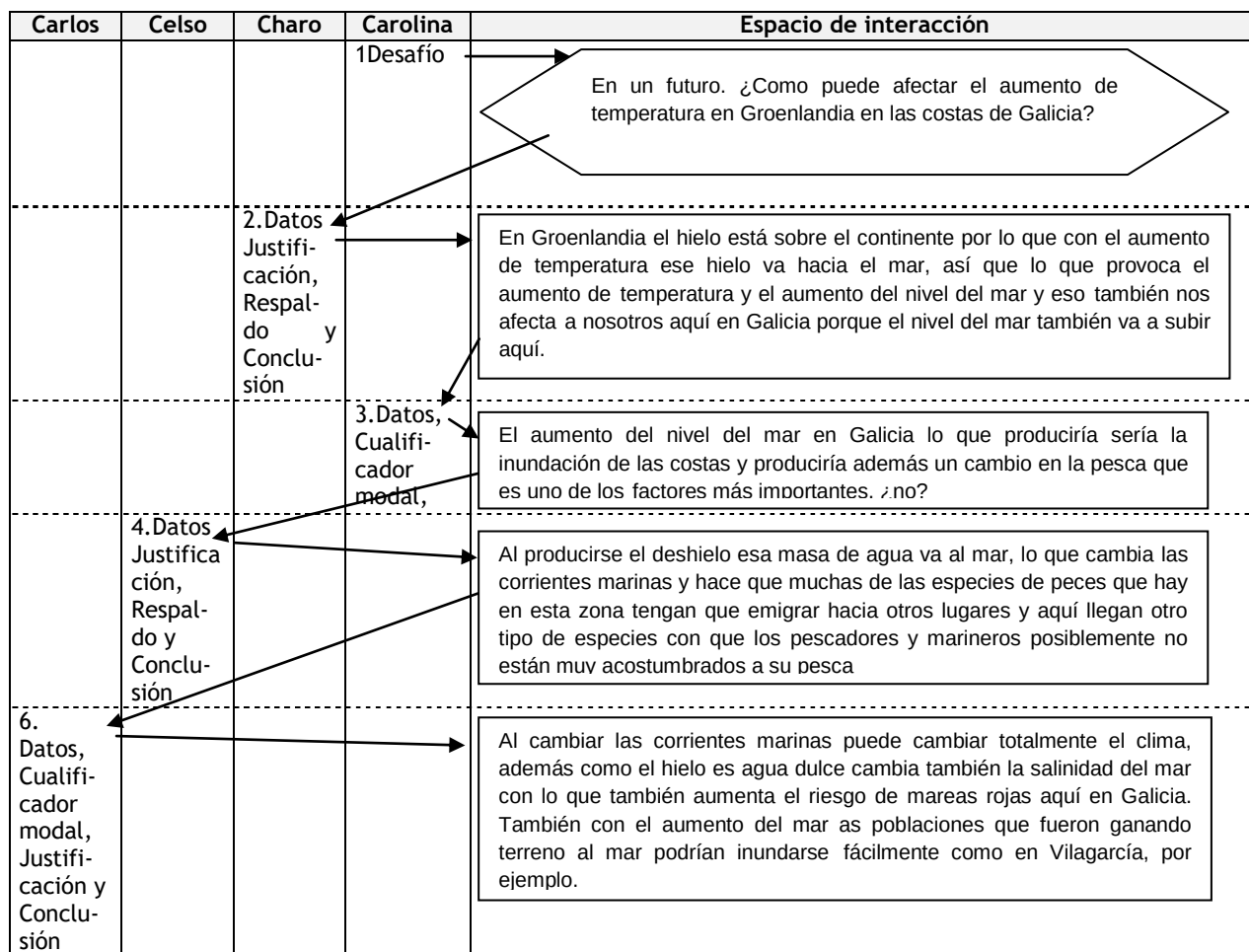


Figura 4.5.26. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la novena cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de la modalidad científico - tecnológica.

4.5.18.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 9

En la figura 4.5.27 se representa el esquema de Toulmin que expresa el argumento contenido en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros de la modalidad científico – tecnológica en la respuesta a la cuestión 9.

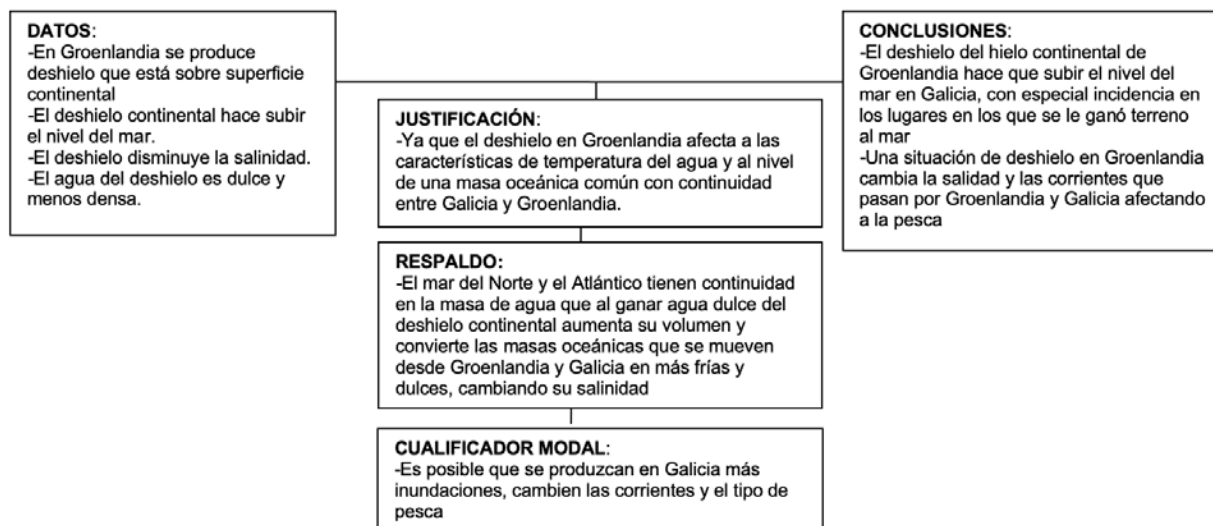


Figura 4.5.27. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la octava cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad científico - tecnológico sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del segundo caso.

4.5.19 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la novena cuestión

Se trata de una cuestión relacionada con la anterior, y al igual que pasó en la respuesta de aquella, se consigue una argumentación más completa y con mayor modelización de la argumentación conducida por el docente. El esfuerzo del docente por buscar un procesamiento profundo parece que dio réditos en el interés y búsqueda de información de los estudiantes, porque aquí ya no existió el bloqueo en el inicio de la argumentación. Ahora se situaron con rapidez en el problema y fueron muy ágiles y sintéticos en la formulación de los argumentos, tal y como se manifiesta en la multicategoría con la que se categorizó estas aportaciones.

Tampoco se observaron las dificultades a las que enfrentó el profesor tres meses antes para traer a lo local lo global y para conectar el agua oceánica de Groenlandia con Galicia. Aquí lo hacen de forma natural, eficaz y ágil. Los estudiantes tres meses antes no relacionaban la subida del nivel mar en Galicia con deshielos de hielo continental distantes, como puede ser este, o todavía más distantes como los de la Antártida. Aquí sí hacen la transferencia con facilidad, aplicando para ello el principio de Arquímedes, y Charo ya arranca dejando una argumentación bastante completa, y situando este aspecto, que es lo más relevante en la transferencia entre lo local y lo global que explora esta argumentación. En la argumentación esta conexión la buscaban en las corrientes, que aquí también aparece, pero no ya como una conclusión tan directa, sino más como calificador modal, al estar enunciado como posibilidades con una probabilidad bastante elevada.

En la argumentación de tres meses antes el profesor tuvo que hacer un esfuerzo grande para que relacionaran las posibles corrientes marinas entre Groenlandia a Galicia con diferencias de temperatura y salinidad entre masas de aguas, Aquí los estudiantes utilizan este

conocimiento básico como respaldo con rapidez, naturalidad y eficacia. Carlos, siguiendo la línea de razonamiento de las corrientes, concluye que esas corrientes que cambian pueden afectar a Galicia cambiando su clima, con lo que encuentra una relación lógica que permitiría relacionar el impacto del deshielo en Groenlandia y el cambio climático de Galicia, pero los ejemplos en los que se apoya son únicamente de procesos de desertización continental, por lo que no logra armar una argumentación coherente para dar soporte a este argumento.

Hace tres meses se extrajo con facilidad las posibles consecuencias en Galicia derivada del deshielo en Groenlandia que podrían tener las sobre la deslocalización de especies oceánicas móviles de nuestras aguas, que podrían verse obligadas a migrar hacia latitudes más elevadas al subir las temperaturas del agua de Galicia, apuntando las posibles repercusiones sobre la pesca. Pero no se hacía mención a que aquí podrían aparecer nuevas pesquerías de especies de latitudes inferiores. Aunque esto todavía no es coherente porque el agua que llega del Polo Norte y las pesquerías nuevas que están apareciendo en Galicia son de especies de latitudes inferiores, no superiores. En lo que expresa Charo sobre el aumento de la temperatura del agua del mar por deshielo coincide con la misma incoherencia señalada en la respuesta a la misma cuestión en el coloquio dirigido por el docente.

Pero la estrategia de argumentación y la modelización tres meses después y ahora sin la intervención del docente son más sólidas y con un mayor grado de modelización. El esfuerzo del docente tres meses antes parece que dio sus frutos. Las dificultades a las que se enfrentó el docente en su dirección de la argumentación para responder a esta cuestión fueron tan importantes que lo llevaron a improvisar la cuestión número diez, que no estaba planificada inicialmente, que dio lugar al apartado 4.3.20 del caso 3. Parece que la argumentación que consiguió orientar en el discurso generado en el coloquio con la totalidad de la clase dejó elementos de aprendizaje que aparecieron aquí con eficacia desde las estructuras cognitivas de este equipo de trabajo compuesto por seis estudiantes. El procesamiento profundo que se tuvo que generar con la argumentación para responder a esta cuestión y a la décima que improvisó el docente por las barreras que se encontró en las respuestas a la novena posiblemente generó en los estudiantes la curiosidad e interés por buscar respuestas a estas preguntas, y eso parece derivarse la aparición de las inundaciones de Vilagarcía que derivan de la cuestión décima improvisada por el docente.

En definitiva, de nuevo parece que el proceso de aprendizaje mediante la utilización de estrategias de argumentación grupal genera procesos de aprendizaje que a medio plazo se muestran sólidos, y con una capacidad de generar respuestas extensas, matizadas y fundamentadas cuando un equipo de trabajo se enfrenta a la co-construcción de argumentos para responderlas de nuevo.

En relación con la valoración del argumento siguiendo la rúbrica de la Tabla 3.1 de la Metodología se le otorga 2 puntos por el apartado de Hechos porque, se incluye la subida del nivel del mar como dato que permite la conexión con el conocimiento científico. Pero no se le otorga la valoración máxima porque usa datos hipotéticos que no permiten visualizar con claridad conexiones con el conocimiento científico como el calentamiento del agua que procede del deshielo o por la justificación en base a la llegada de corrientes de esta agua de deshielo la aparición de pesquerías en Galicia que se sabe que son de especies propias de latitudes inferiores, no superiores. Por esta relación de los hechos con la conclusión también se le otorga 2 puntos a la justificación. A la Conclusión se le otorga también dos puntos, porque de lo enunciado como conclusión se deduce un apoyo acertado en un modelo

en cuanto a la subida del nivel, y no se le otorga la puntuación máxima por las incoherencias citadas.

Por tanto, la valoración global del argumento es de 6 puntos sobre el total de 9, superando en el doble a la valoración de la argumentación de la respuesta a la misma cuestión 3 meses antes.

Con respecto al patrón que sigue el diagrama del discurso, en el caso 3 el docente logra llegar a la categoría de colaborativa; aquí vuelve a repetirse porque 4 de los 6 estudiantes que formaban el grupo, hacen aportaciones.

En cuanto a la modelización, siguiendo en la valoración el esquema de la figura 3.10 de la Metodología, a diferencia de la ausencia de modelización que se encontró para esta cuestión en el caso 3, aquí si se identifica en el discurso de la respuesta un proceso de modelización que permiten interpretar, teniendo en cuenta el modelo científico, la influencia de la subida del mar en Galicia. Pero se considera necesario revisar la justificación basada en que ese deshielo hace que los peces de allí tengan que cambiar de aguas, porque los cambios de distribución que se están encontrando son desplazamientos de especies adaptada a aguas que se calientan hacia otras latitudes superiores con aguas que ahora tienen esa temperatura. Por tanto, se debe revisar la falta de coherencia para explicar la aparición de pesquerías nuevas en Galicia por el agua de deshielo que llega desde el Polo Norte, porque estas son de especies de latitudes inferiores, no de latitudes superiores. También se debe revisar la incoherencia de la relación de ese deshielo con el aumento de las mareas rojas.

En lo relativo al valor del proceso de modelización aplicando la rúbrica de la figura 3.2 se le asigna por la iniciativa y autonomía la máxima puntuación de ese apartado, la del patrón 1b (4 puntos). Se le asigna esa puntuación en el primer apartado porque sin el docente expresan en el argumento de forma ágil y eficaz en el pensamiento colaborativo. En la segunda parte se le otorga la puntuación del patrón 2b (3 puntos) porque existiendo una concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones se consigue mediante conexiones implícitas con el conocimiento básico, aparecen incoherencias como los supuestos efectos de las mareas rojas o la aparición en Galicia de peces de la región de Groenlandia.

Por tanto, el proceso de modelización queda valorado con 7 puntos del máximo de 8 que se pueden asignar con los patrones de referencia de la tabla 3.2

4.5.20 Discusión conjunta y conclusiones del caso 5

La discusión está orientada por el objetivo concreto de estudio de caso de conocer en qué medida el grupo pequeño estudiantes de la modalidad científico-tecnológica, sin la participación del docente, aplican lo retenido en su estructura cognitiva de las estrategias de argumentación y de la validez de argumentos y modelos asimilados tres meses antes en la co-construcción de argumentaciones conducidas por el docente respondiendo a las mismas preguntas. Siguiendo esta orientación, se responde a las dos sub-preguntas particulares del caso:

1. ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente 3 meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica?

2. ¿En qué medida la modalidad científica-tecnológica está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

Los esfuerzos del docente y de los miembros activos de la clase tres meses antes para abstraer y consensuar significados que les permitieran comprender la realidad que requería dar respuesta a las preguntas demostraron ser eficaces para que el aprendizaje de la estrategia de argumentación y de los argumentos y modelos, con sus matices semánticos, se mantuvieran 3 meses en la capacidad cognitiva del estudiante.

Del análisis integrador de todo lo analizado en este caso parece desprenderse que hay más metacognición en el caso 3, pero en general inducida por el docente, quien evitó dar conocimientos específicos, como se le pidió y por eso recurrió a símiles, analogías y a contextos próximos a los estudiantes. Aunque en este caso los estudiantes trabajan de forma autónoma, y usan menos este tipo de recursos propios del de una conducción docente en una argumentación, se visualiza que ha habido una transferencia progresiva de ese control manifestado por el docente en el caso 3 a los estudiantes. Se comprueba que estos usan estrategias de argumentación que usó hace tres meses antes el profesor en su enseñanza a través del coloquio que dirigió. Se visualiza que, al menos en parte, están repitiendo las estrategias seguidas en la respuesta tres meses antes y los conocimientos que adquirieron.

Por tanto, los procesamientos complejos y los razonamientos implicados tres meses antes implican que el proceso a seguir en la estrategia de la argumentación que ya han seguido de aquella, y ahora cobran su sentido guiando las estrategias de argumentación de los estudiantes. Se comprueba la eficacia de los aciertos del docente guiando las estrategias de argumentación buscando la implicación reflexiva de los estudiantes en procesos de modelización para poder responder que seguridad a las cuestiones. En este grupo de trabajo autónomo de grupo en la búsqueda de las mismas respuestas se evidencia que los estudiantes se han apropiado en los tres meses que pasaron para dar respuestas eficaces a estas cuestiones. Se comprueban así los múltiples beneficios y bondades que Monereo et al. (2001) atribuye de la enseñanza cooperativa y colaborativa para promover estrategias de aprendizaje debido a los propios escenarios cooperativos de co-construcción de argumentos como a la propia naturaleza de las estrategias de argumentación usadas. Además, de estas co-construcciones de argumentos entre estudiantes en los que unos dependen de otros para argumentar en la búsqueda de respuestas, resulta una fórmula para que aparezcan diferentes estrategias de argumentación que dotan a los participantes de mayor competencia para seguir esta línea de aprendizaje constructivista. Los resultados de este caso permiten visualizar niveles de desempeño que favorecen que los estudiantes argumenten de forma autónoma, siendo capaces de razonar para buscar respuestas a cuestiones complejas relacionadas con la ciencia del cambio climático.

En ningún momento los estudiantes manifiestan bloqueos como los que se encontró el docente tres meses antes. El nivel de la argumentación, a nivel global aumentó, si bien, se echan en falta los recursos metacognitivos que aparecieron tres meses antes y que se recogen en el estudio de caso 3, pero de aquella la mayoría de esos recursos los generó la conducción del docente.

Por lo expuesto, se apuntan a modo sintético las siguientes conclusiones:

- Es importante que los estudiantes adquieran destrezas para introducir respaldos en la argumentación explicitando más los conocimientos básicos en las justificaciones y en los calificadores modales. Para ello, además, de la retentiva de un coloquio introductorio de la argumentación por parte del docente, que se muestra eficaz, interesa que los estudiantes dispongan de materiales con andamiajes.
- Como los estudiantes argumentaron sobre estas cuestiones tres meses antes sin ejercer en este tiempo ningún esfuerzo memorístico, a la vista del análisis de las respuestas dadas a las mismas tres meses después de trabajar con el profesor, y sin intervención de este ahora, se concluye que como resultado de los procesos de aprendizaje y de las estrategias de argumentación desarrolladas los estudiantes argumenten con seguridad, síntesis, con uso en amplitud y propiedad de los elementos de la argumentación establecidos.
- Los estudiantes llegan prácticamente a la misma profundidad que cuando argumentan orientados por el docente, y en algunos casos incluso parecen hacerlo con más eficacia, lo que muestra la eficacia, significatividad y retentiva de abordar los principales procesos de modelización desde intervenciones con estrategias de argumentación de este tipo.
- Los resultados mostrados por este equipo de trabajo muestran que quedaron bien interiorizadas esos conocimientos teóricos básicos y ahora están funcionando como representaciones implícitas.
- Este tipo de estrategias de argumentación analizadas con este enfoque comparativo distanciadas en el tiempo, modalidad de agrupamiento y en rol docente, evidencia de una forma rápida las dificultades para movilizar ideas alternativas erróneas y para introducir conceptos complejos.
- Entre las dificultades de aprendizaje que se intuían en el caso 3 y que se vuelven a evidenciar ahora destacan:
 - La dificultad que demuestran tener los estudiantes para entender la relevancia de un aumento de 1° C en la temperatura global.
 - La comprensión del papel de la fotosíntesis en el efecto sumidero y de la respiración y descomposición de los restos de los seres vivos en las fuentes naturales.
 - La falta de modelos de pensamiento sistémico como los que demanda la comprensión del sistema comunidad clímax como un proceso culmen en la evolución de las comunidades en las sucesiones.
- La intervención del docente 3 meses antes generó una importante eficacia de retención y maduración en la modelización que facilita que ahora sean capaces de argumentar sin la intervención docente con solvencia recogiendo los elementos claves que la eficacia docente dejó en la estructura cognitiva de los estudiantes.

- A modo de síntesis se concluye que los estudiantes llegan prácticamente a la misma profundidad que cuando argumentan orientados por el docente, y en algunos casos incluso parecen hacerlo con más eficacia. Lo que se echa en falta en relación a la argumentación conducida por el docente tres meses antes es el uso de menos respaldos, pero también puede ser porque con las estrategias de argumentación desarrolladas por el profesor en el coloquio sobre las mismas cuestiones que se tratan ahora, ya quedaron bien interiorizadas esos conocimientos teóricos básicos.

4.1.23 Implicaciones para la educación científica, limitaciones y posibles líneas de investigación

Desde el punto de vista de las implicaciones didácticas se apunta el interés de desarrollar un coloquio así antes de iniciar unidades didácticas complejas como son las de la ciencia escolar del cambio climático, para conseguir andamiajes con actividades en los que los docentes pasen a discutir en grupos de trabajo como los de este caso.

Se remite a las recomendaciones didácticas del estudio del caso 3 y se destaca aquí las recomendaciones didácticas más concretas y centradas en este caso.

- Interesa generar propuestas didácticas contextualizadas en Galicia donde se introduzcan posibles impactos del cambio climático en especial en lo relativo a la modelización sobre cómo puede ser el caso los efectos erosivos de los incendios vinculando estos riesgos de erosión y desertificación al del aumento de riesgos por cambio climático.
- Es recomendable el proceso de un coloquio introductor de la unidad didáctica con la estrategia utilizada por el docente en el caso 3 programando unidades a modo de indagaciones que requieran de actividades de argumentación para la modelización sobre los objetivos didácticos de la actividad. Esta recomendación se sustenta en que este estudio de caso se visualiza que se generan procesos de aprendizaje que a medio plazo se muestran sólidos, y con una capacidad de generar respuestas extensas, matizadas y fundamentadas cuando un equipo de trabajo se enfrenta a la co-construcción de argumentos para responderlas de nuevo.
- Interesa incluir una práctica de laboratorio para incorporar en la modelización del aumento del nivel del mar el factor de la dilatación.

4.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL CASO 6: ARGUMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE 6 ESTUDIANTES DE LA CLASE DE 1º DE BACHILLERATO DE LA MODALIDAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES SIN INTERVENCIÓN DOCENTE

4.6.1 Introducción

En este estudio de caso se analizaron 60 minutos del discurso de un equipo de 6 estudiantes voluntarios del grupo clase de 15 estudiantes del primer curso de la enseñanza media superior (1º de Bachillerato) del sistema educativo español de la modalidad de humanidades y ciencias sociales que participaron en la argumentación en coloquio del grupo clase conducida por el profesor objeto de estudio del caso 4.

Los seis estudiantes abordaron en 60 minutos la actividad que estaba planificado para 80 minutos, pero el adelanto de la salida del transporte por ser el día de fin curso recortó el tiempo. En este caso se analiza la co-construcción colectiva del discurso correspondiente a las respuestas de las mismas siete primeras preguntas que respondieron tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor. En este caso no se volvió a visualizar la exposición y, por tanto, los seis estudiantes recurrieron únicamente a lo que recordaban del proceso de enseñanza aprendizaje desarrollado mediante el trabajo con el recurso didáctico de la exposición sobre la unidad didáctica de Cambio Climático (anexo II) tres meses antes.

Los seis estudiantes que formaron este grupo de trabajo fueron estudiantes voluntarios para participar en esta experiencia en el último día lectivo del curso, en el cual los estudiantes solo tenían que asistir al centro a recoger el boletín de calificaciones y realizar actividades complementarias voluntarias, entre las que se incluyó esta actividad. Los seis componentes se sentaron en círculo en un espacio que se generó en el centro de la clase, quedando espacio vacío alrededor para que un observador con cámara tuviese libertad de movimientos para grabar las aportaciones de cada miembro.

El material grabado fue transcrito y analizado según las categorías de Toulmin (1958) y las establecidas para el análisis de las interacciones basadas en Hogan et al. (2000). Se transcribió todo el discurso con el que se construyó la respuesta a las preguntas. Igual que en los casos anteriores, el discurso de cada uno de esos eventos se representó en un diagrama de flujo del discurso (Hogan et al., 2000), y se finalizó la presentación de los resultados con una representación sintética de la argumentación en un esquema de Toulmin (1958).

El grupo de los 6 estudiantes se enfrentan a este reto solo con lo que retienen de la argumentación construida tres meses antes bajo la dirección continua del docente sobre las siguientes 7 primeras cuestiones de la secuencia de 9 seleccionadas inicialmente, porque el tiempo de trabajo planificado se tuvo que recortar al adelantar el centro ese último día de clase la salida de los autobuses. Por tanto, las cuestiones que se respondieron fueron:

1. ¿Es malo el CO₂ para la vida?
2. ¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?
3. ¿Una selva es un sumidero de CO₂?
4. ¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?
5. ¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?
6. ¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?
7. ¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?

Se analiza la argumentación de este grupo de 6 estudiantes de humanidades y ciencias sociales sin intervención docente con los siguientes objetivos concreto de estudio de caso:

- Conocer en qué medida el grupo pequeño de estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, sin la participación del docente, aplican lo retenido en su estructura cognitiva de las estrategias de argumentación y de la validez de

argumentos y modelos asimilados tres meses antes en la co-construcción de argumentaciones conducidas por el docente respondiendo a las mismas preguntas.

Siguiendo esta orientación, se responde a las dos sub-preguntas particulares del caso:

1. ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente 3 meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica?
- 2- ¿En qué medida la modalidad científica-tecnológica está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

Los datos se obtuvieron mediante una cámara de vídeo, que fue moviendo un cámara observador, quien se desplazó en círculos para recoger el discurso de cada estudiante a medida que intervenía. Se transcribió la totalidad del discurso generado en los 60 minutos de clase y, una vez transcrito, se marcaron con saltos de página los fragmentos de discurso correspondientes a la argumentación relativa a cada una de las 7 preguntas de investigación que se tomaron como unidades de análisis, al igual que ocurre en los casos 3, 4 y 5.

Los 60 minutos dedicados al coloquio se grabaron en audio y vídeo. El material grabado fue transcrito en su totalidad y se analizó la argumentación correspondiente a cada pregunta en el coloquio dirigido por el profesor. Una vez realizada la separación de los siete fragmentos de discurso, uno por cada respuesta a cada una de las siete cuestiones que se respondieron en el equipo de trabajo, se procedió a categorizar cada intervención aplicando las categorías de Toulmin adaptadas con las aportaciones de diferentes investigaciones sobre la argumentación relativa a las Ciencias de la Naturaleza y Educación Ambiental (Álvarez, 1997; Jiménez, 1998; Duschl et al., 1999; Pontecorvo y Girardert, 1993).

Los datos se analizaron al igual que en los casos 3, 4 y 5. Con el discurso transcrito, una vez categorizado, se obtuvieron los mapas del discurso inspirados en Hogan et al. (2000), siguiendo los patrones de las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 de la metodología. Con este análisis se pretende clarificar cómo se va construyendo el discurso en relación a la dinámica del grupo, la secuencia de acciones que se van desarrollando en relación al agrupamiento en que se produce la comunicación y los agentes que interactúan y comunican.

Una vez desarrollado el mapa del discurso se procedió a realizar una representación del argumento mediante un esquema de Toulmin representando en la figura 3.2 del apartado de Metodología. La calidad del argumento esquematizado se valoró mediante los patrones de referencia de la rúbrica expresada en la tabla 3.1 del apartado de Metodología.

Para analizar el proceso de modelización obtenido con el pensamiento colectivo que queda recogido en el argumento expresado en el discurso se sigue el diagrama de flujo de la figura 3.10 del apartado de Metodología. A su vez su valoración se hace mediante las puntuaciones de los patrones de referencia de la rúbrica de la figura 3.2.

Del análisis de los resultados realizado se concluye que el equipo de seis estudiantes profundizó más en las cuestiones más próximas a los ámbitos de especialización como es el caso de las tres primeras. Se centraron bien en las tareas y han reproducido estrategias de argumentación que se asemejan a las desarrolladas con el docente tres meses antes. Se aprecia

que los estudiantes prácticamente obvian la utilización de respaldos científicos, aunque siguen pautas de argumentación científica cuando las respuestas se orientan hacia temas socioeconómicos.

4.6.2 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la primera cuestión

4.6.2.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 1

La figura 4.5.1. comprende el discurso desarrollado por los seis estudiantes del grupo sobre si el CO₂ es un gas importante para la vida. Estos seis participantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales abordan ahora, sin la intervención del profesor, la misma cuestión sobre la que tres meses antes argumentaron bajo las orientaciones del profesor

Santiago	<i>¿El CO₂ es malo para la vida?</i>	Desafío	AG
Sol	<i>Bueno, pues el CO₂ sería malo para la vida si estuviese en exceso o en escasez, pero en un nivel de equilibrio estaría bien.</i>	Datos	AG
Sebastián	<i>Como todo en la vida, todo tiene que estar en un determinado equilibrio, ya que por ejemplo el CO₂ en poca cantidad, al contrario de lo que se piensa, también es perjudicial, al igual que estar en un exceso de cantidad. Por eso cuando se habla de... reducir el CO₂ que hay en la Tierra, no nos referimos a tratar de eliminarlo todo, sino de mantener un nivel adecuado.</i>	Justificación y conocimiento básico	AG
Sandra	<i>Creo que todos tenemos la misma opinión acerca del CO₂ porque es un compuesto clave para el proceso de efecto invernadero y también ayuda a que se desarrolle bien la vida de los seres vivos y del medio que nos rodea.</i>	Acuerdo y conocimiento básico	AG
Santiago	<i>El CO₂ viene causado por ejemplo por los automóviles, por los residuos de las fábricas, por... bueno... desde muchos ámbitos viene causado el CO₂ y, como ya se dijo, es perjudicial en un exceso o cuando es demasiado poco...</i>	Conclusión	AG

Figura 4.6.1. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de trabajo de 6 voluntarios de la clase de ciencias sociales sin que intervenga el docente que tres meses antes han participado en la respuesta a la misma cuestión generada en el coloquio por parte del docente, dirigido a su grupo clase, para responder a la misma cuestión.

4.6.2.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.6.2 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de los 6 miembros del grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en la respuesta a la cuestión 1 sin la intervención docente tres meses después de responder a la misma pregunta en el coloquio conducido por el docente.

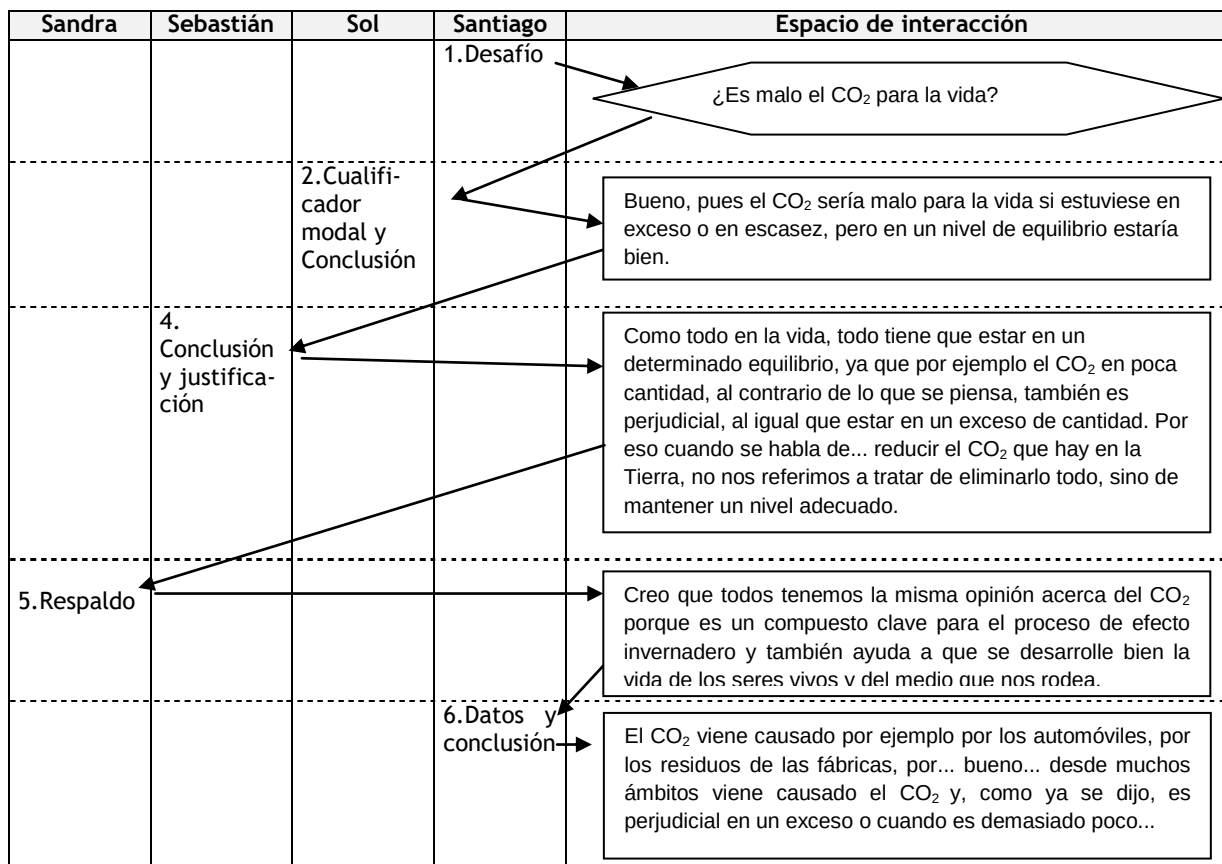


Figura 4.6.2. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el equipo de seis estudiantes del grupo de ciencias sociales sin la conducción del profesor, tres meses después de que el docente haya dirigido un coloquio del grupo clase de estos seis estudiantes para responder a la misma cuestión.

4.6.2.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 1

En la figura 4.6.3 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación de los seis estudiantes de humanidades y ciencias sociales buscando la respuesta a la cuestión nº 1 a la que habían respondido 3 meses antes mediante la argumentación del coloquio conducido por el profesor.

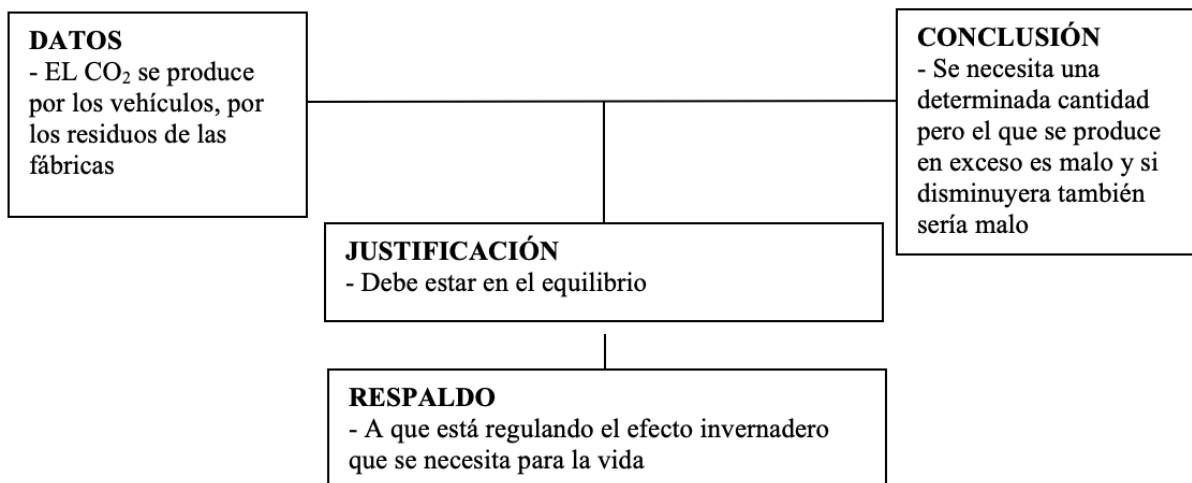


Figura 4.6.3. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la primera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del cuarto caso.

4.6.3 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativa a la primera cuestión

Sandra cita el efecto invernadero asociado al efecto de regulador térmico del dióxido de carbono en la regulación de la temperatura. Pero no aportan datos demasiado significativos más allá de las referencias que hace Santiago a las fuentes de emisiones antrópicas. Tanto las conclusiones como el respaldo no quedaron demasiado desarrolladas, y el discurso se centró en el enunciado de conclusiones sin demasiada fundamentación.

En el discurso que participaron estos mismos estudiantes tres meses antes, de aquella conducido por el profesor y recogido en el cuarto caso, se ha profundizado más en la respuesta a esta pregunta que en discurso de este pequeño grupo de voluntarios. De aquella se explicitó la retención de calor por los gases invernadero, y se realizó un mayor esfuerzo en aclarar el modelo, con algunas incorrecciones como puede ser la introducción del problema agujero de la capa de ozono en el uso de respaldos científicos.

En cuanto a la valoración de la calidad de los argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología, en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación media de 2 puntos, aunque no suministran datos empíricos comprobados por la ciencia, si citan el efecto invernadero como el conocimiento básico que apoya el papel del dióxido de carbono en la regulación de la temperatura. Por eso en el apartado de hechos se le otorga la puntuación media (2 puntos), por apoyarse en hechos hipotéticos con coherencia científica. En relación con el apartado de justificación se le otorga la puntuación media (2 puntos) por la concordancia aceptable que existe en la justificación entre los hechos y las conclusiones a través de relaciones implícitas con el conocimiento básico. Como ha ocurrido en los otros tres casos, no hacen referencias a la retención de la radiación infrarroja por el dióxido de carbono. También se le otorga la puntuación media (2

puntos) en el apartado de conclusiones porque relaciona el papel del dióxido de carbono en el efecto invernadero.

Por tanto, se valora el argumento con una puntuación de 6 puntos sobre los 9 que tendría un argumento de calidad con valoración máxima, que es un punto menos que la puntuación que se otorgó a la argumentación generada en la respuesta a la misma pregunta en el coloquio de grupo clase dirigido por el docente.

La secuencia del flujo del discurso se correspondería con un patrón de secuencia de intervención de la categoría colaborativa expresada en la figura 3.6 del apartado de Metodología. Este patrón deriva del hecho de que 4 de los 6 estudiantes que forman el grupo hacen aportaciones sustantivas.

Al igual que en la argumentación de la respuesta a la misma cuestión, cuyo discurso dirigió el docente, aquí tampoco se visualiza un proceso de modelización claro aplicando el análisis del método de modelización expresado en la figura 3.10 del apartado de Metodología, puesto que en el discurso no se identifican eventos que impliquen procesos de modelización que se desarrollen a través de las estrategias de argumentación colectiva que siguen los estudiantes, si bien los cuatro estudiantes expresan que el CO₂ es necesario en una cantidad que se debe mantener en equilibrio. Además, Sandra introduce en la argumentación el efecto invernadero. Santiago cita las fuentes de emisión del aumento por uso de combustible fósiles en industrias y en las emisiones difusas de la automoción. Pero en ningún momento se menciona la retención del calor por este gas.

Estos avances aplicando la valoración del proceso de modelización de la rúbrica de la tabla 3.2, por el apartado de iniciativa, autonomía y rigor se le otorga la puntuación del apartado 1d (1 punto) porque en las intervenciones de los cuatro estudiantes se comparte del modelo del efecto invernadero, por aparecer citado en el discurso, pero no con la claridad, rigor y validez para ser usable en la ciencia escolar, por cuanto que no explica ni se aproxima a hacer inteligible la retención del calor. Por el apartado 2 de evolución y madurez se le otorga la puntuación 2b (3 puntos) porque la argumentación avanza hacia un modelo más evolucionado en la línea del efecto invernadero, pero esas conexiones con el conocimiento básico se realizan a un nivel implícito. Por tanto, se le otorga la puntuación de 4 puntos.

4.6.4 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

4.6.4.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.6.4. comprende el discurso desarrollado por los seis estudiantes del grupo de trabajo de humanidades y ciencias sociales sobre si es relevante para la vida un aumento de 3º grados centígrados de temperatura media. Estos seis estudiantes de ciencias sociales abordan ahora, tres meses después, sin la intervención del profesor, la misma cuestión sobre la que tres meses antes argumentaron bajo las orientaciones del profesor.

Santiago	<i>¿Una diferencia de 3° en la temperatura media tiene importancia para la vida? ¿Quién quiere?</i>	Desafío	AG-DL
Sandra	<i>Sí, porque... no es lo mismo que aquí aumente 3° la temperatura, que por ejemplo las especies que a lo mejor en este clima más oceánico eh... como por ejemplo el roble o así a esa temperatura está bien pues por ejemplo si ahora sube 3° pues podría haber otras especies, se podrían crear otras especies en nuestro territorio, como podría ser a lo mejor... plantas del... Sur o así.</i>	Datos y Calificador modal	AG-EX
Santiago	<i>Como ya hubo cambio de temperatura en lo que llevamos de vida obviamente ahora mismo se están viendo especies que nunca en su vida estuvieron en Galicia por ejemplo peces que son tropicales, peces que son... o sea de bancos que en una antigüedad sería imposible localizarlos aquí... causado por el aumento de grados.</i>	Datos	AG-EX
Sol	<i>Hay otros propios que ya vivían aquí y que migraban para criar sus huevos y con el aumento de la temperatura que se está produciendo pues ya no emigran y quedan aquí.</i>	Datos y Respaldo	AG-EX
Sebastián	<i>Una diferencia de 3° es tan notable para nosotros como para los animales. Nosotros en nuestro clima que tenemos aquí en Galicia, considero que es uno de los mejores climas del mundo, pues considero que una diferencia de 3° puede ser bastante notable, tanto en el invierno como en el verano, en cualquiera época del año. Por tanto, para los animales, que no considero que los animales se adapten mejor o peor que nosotros, pero... ellos están... están adaptados a un ecosistema determinado, que una diferencia de 3° puede variar una gran diferencia.</i>	Datos Justificación y Conclusión	AG-EX
Santiago	<i>¿Algo más? Vale</i>	Justificación y respaldo	AG-EX

Figura 4.6.4. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” del equipo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.6.4.2 Diagrama del discurso de la respuesta a la cuestión 2

En la figura 4.6.5 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo de trabajo de los 6 estudiantes de ciencias sociales en la en la respuesta a la cuestión 2 a la que 3 meses antes también han contribuido a construir mediante la argumentación contenida en el discurso generado en el coloquio dirigido por el profesor.

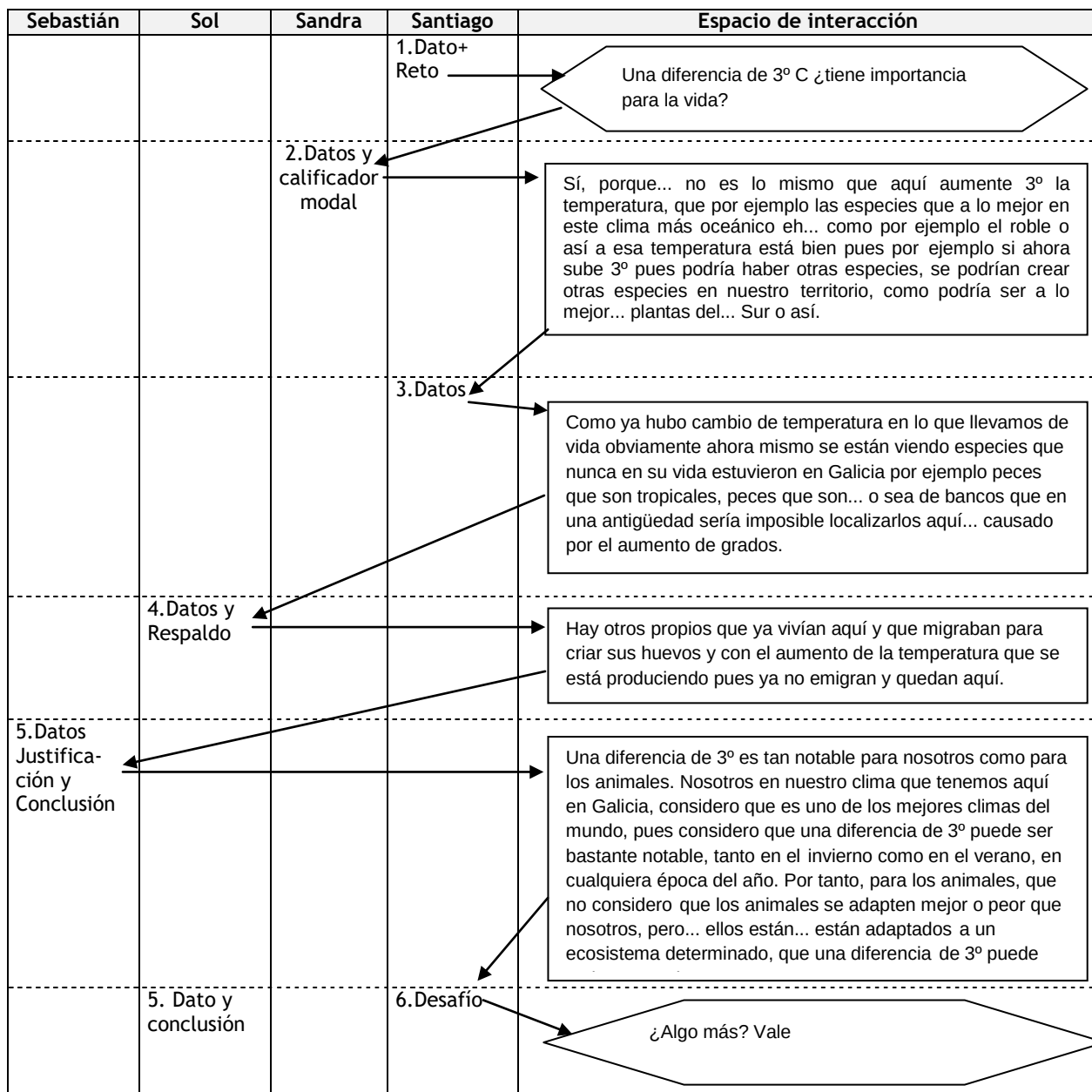


Figura 4.6.5. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la respuesta a la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” que dieron los seis estudiantes de ciencias sociales sin la intervención del docente y que tres meses antes argumentaron con el grupo clase para dar la respuesta a esta cuestión en el coloquio conducido por el docente en el grupo clase de la modalidad de ciencias sociales.

4.6.4.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 2

La figura 4.6.6 se presenta la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada por el equipo de trabajo de 6 estudiantes de ciencias sociales que argumentan para responder, sin la intervención docente, a la cuestión 2 en cuya respuesta colectiva de su grupo clase participaron 3 meses en el coloquio dirigido por el docente.

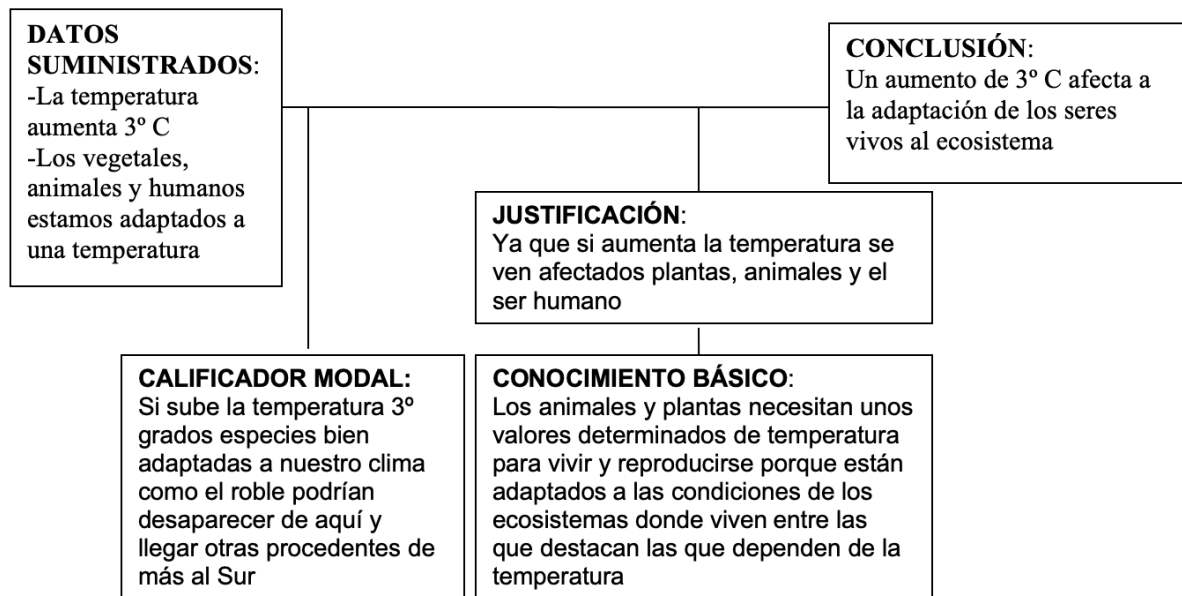


Figura 4.6.6. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la segunda cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes del grupo la clase de la modalidad de ciencias sociales sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del cuarto caso para responder a esta misma pregunta.

4.6.5 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la segunda cuestión

Al igual que en la cuestión anterior, Santiago inicia el discurso y lo cierra, asumiendo así el rol de liderazgo en estas dos primeras cuestiones. En la primera aportación Sandra se refiere a posibles dificultades que tendrían las especies que están adaptadas a nuestro clima si sube la temperatura 3° C. A diferencia de lo que ocurrió en los casos tercero y cuarto, el ejemplo que pone es un árbol, cuando en los ejemplos de posibles afectadas comentadas en los tres casos anteriores eran siempre animales. Aunque aquí Sebastián también parece que está asimilando ser vivo con animal.

En el enunciado de Sandra llama la atención cuando se refiere a la posibilidad de la “creación de otras especies” en nuestro territorio si la temperatura aumenta 3° C. El concepto de creación en este discurso queda ambiguo cuando habla de plantas de Sur, pues al referirse a otra región de una latitud diferente, podría entenderse que se está refiriendo a una migración latitudinal, pero también se puede estar refiriendo a que aparecen especies nuevas con características de adaptación al medio propias de regiones más cálidas. Parece que Sandra analiza el cambio de especies derivados del aumento de temperatura desde un punto de vista creacionista.

Santiago transforma las posibilidades de cambio futuro que apunta Sandra en una situación que ya se está ocurriendo en la actualidad, debido al aumento de temperatura que se ha producido en la última época. En concreto cita el ejemplo de la aparición de bancos de peces que años atrás vivían en aguas más calientes

Sol se refiere a especies con migraciones ligadas al ciclo biológico, con una referencia a la puesta, en la que el proceso de incubación y reproducción requiere unas condiciones climáticas que al subir la temperatura 3° C, ya no necesitan buscar esa temperatura migrando hacia otras regiones. En esa línea Sebastián concluye con claridad y seguridad que un aumento de temperatura es relevante.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos, aplicando la rúbrica de la tabla 3.1 de la metodología, en el apartado de hechos se asigna la puntuación correspondiente a 1b porque se apoyan en hechos hipotéticos con coherencia científica (2 puntos). Por el apartado de justificación se le otorga la puntuación del apartado 2a porque existe una concordancia plena entre los hechos y las conclusiones (3 puntos). Por el apartado de conclusiones se le otorga la puntuación de 3b (2 puntos) porque del enunciado se deduce un apoyo acertado en un modelo de ciencia escolar que le da coherencia al argumento, aunque no se le considera con la suficiente claridad y propiedad porque Sandra plantea las consecuencias del cambio climático en términos no coherentes para los tiempos necesarios en la especiación y ninguno de los otros aportan nada en esa línea evolutiva que pueda pulir la conclusión.

Por tanto, la puntuación que se le otorga, tomando como referencia los patrones de valoración de la rúbrica de la tabla 3.1 para la valorar la calidad de los argumentos es de 7 puntos de los 9 que se otorgan por la calidad del discurso.

Siguiendo las orientaciones del esquema de la figura 3.10 se identifica un proceso de modelización porque realizan la interpretación de la importancia de los 3° C para los seres vivos y por tanto para el ecosistema. Pero queda débil en cuanto al uso de analogías y símiles, y tiene como fortaleza, en relación a los otros tres casos sobre la misma cuestión, el hecho de ejemplificar efectos en un vegetal, pero no ejemplifica y ni da alternativas diferentes a esta. Por eso, para conseguir la coherencia curricular suficiente deben revisarse estos aspectos.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización, aplicando los criterios y valores expresado en la tabla 3.2. de Metodología, para valorar la autonomía, rigor y maduración en el proceso de modelización, se le otorga por el apartado de iniciativa la puntuación del apartado 1b (3 puntos) porque expresan en el argumento un modelo que no es suficientemente claro y riguroso puesto que se ejemplifica los efectos de esos tres grados ni se entra en la naturaleza del valor del grado en climatología, pero es comprensible y claro para entender que esa diferencia de temperatura es importante para los seres vivos y para los ecosistemas. También tiene una concordancia aceptable entre los hechos y las conclusiones con las conexiones con la adaptación de las especies y la estabilidad de los ecosistemas, y por eso se le asigna la puntuación de 3 puntos por su evolución y madurez.

Por tanto, la valoración del proceso de modelización se le asigna 6 puntos del máximo de 8 puntos que se pueden conseguir aplicando los patrones de referencia de la rúbrica de la tabla 3.2.

4.6.6 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

4.6.6.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 3

La figura 4.4.7 recoge la categorización del discurso del equipo de 6 estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales con el que argumentan buscando la respuesta a la tercera cuestión: ¿Las selvas son sumideros de CO₂? Los 6 estudiantes que argumentan

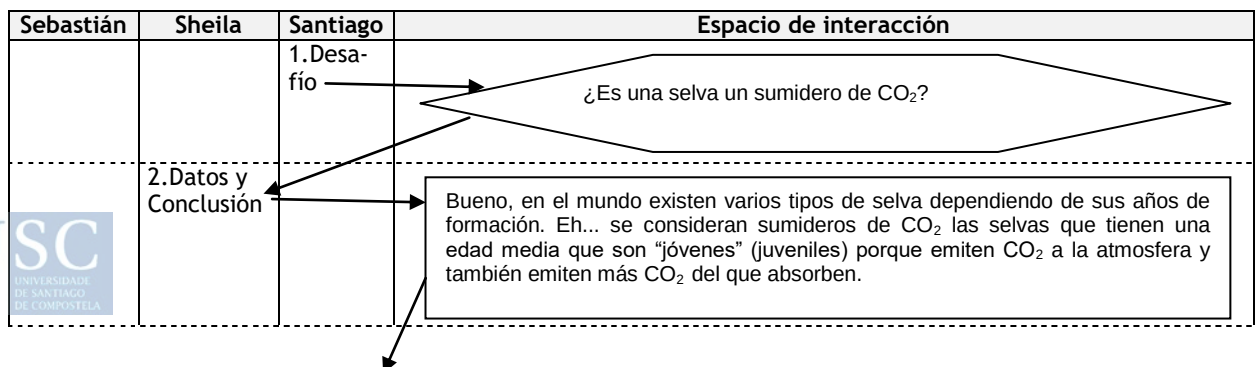
ahora sin la presencia del docente. El desafío que se formula mediante esta cuestión tiene como reto salvar el sesgo de considerar las selvas como sumidero de dióxido de carbono.

Santiago	<i>A ver, ¿Una selva es un sumidero de CO₂?</i>	Desafío	AG-DL
Sheila	<i>Bueno, en el mundo existen varios tipos de selvas dependiendo de sus años de formación. Eh... se consideran sumideros de CO₂ las selvas que tienen una edad media que son “jóvenes” (juveniles) porque emiten CO₂ a la atmósfera y también emiten más CO₂ del que absorben.</i>	Datos y Conclusión,	AG-EX
Santiago	<i>Yo creo que hay 3 tipos de bosque o de selva, que son los nuevos, los medios y los viejos. Los viejos producen más CO₂ del que consumen, y los nuevos producen menos CO₂ del que consumen. Y los medios no tanto ni tampoco, creo. Se lo quieres decir tu</i>	Datos y Conclusión	AA-EX
Sebastián	<i>Lo que está claro es que los árboles son importantes en el proceso del CO₂, aunque, claro, todo el mundo considera que... los árboles recogen todo, recogen gran cantidad de CO₂, pero lo que mucha gente no sabe es que también producen CO₂. Por lo tanto, esos bosques que tienen ya una antigüedad al final acaban resultando perjudiciales porque emiten lo mismo que lo que producen. Por lo tanto, se deberían de plantar nuevos árboles y los bosques nuevos eh... ir considerando los que ya son bosques viejos para... a lo mejor tratar de cortarlos y tratar de volver a plantarlos, para así crear una situación favorable.</i>	Datos, Justificación y Conclusión	AG-EX

Figura 4.6.7 Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de ciencias sociales sin la intervención del docente.

4.6.6.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.6.8 se representa en forma de “mapa del discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del grupo de trabajo de 6 estudiantes de ciencias sociales que tres meses antes argumentaron con el grupo clase de su especialidad para responder a esta cuestión en el coloquio conducido por el profesor.



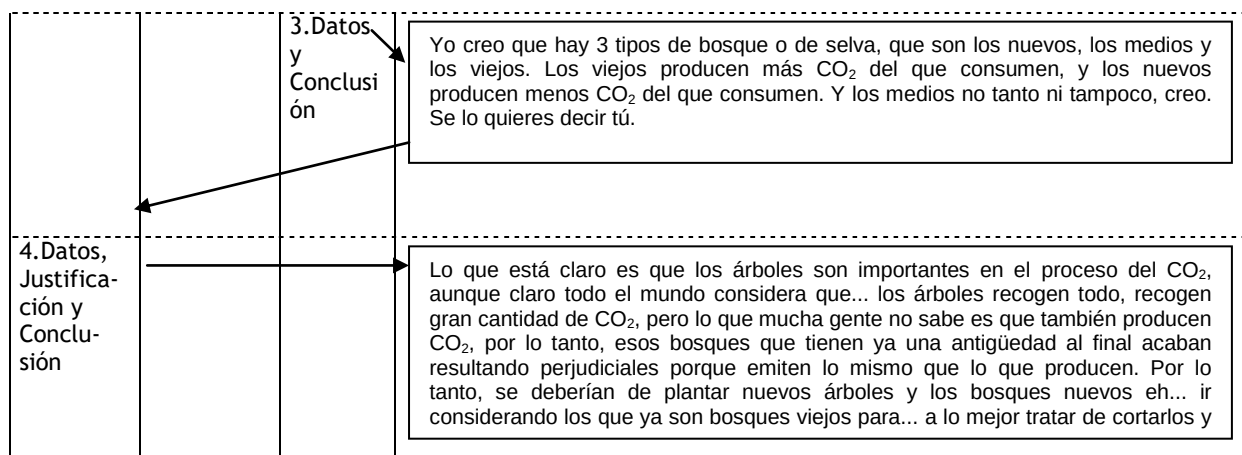


Figura 4.6.8. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de ciencias sociales.

4.6.6.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 3

En la figura 4.4.9 se muestra la representación del esquema de Toulmin de la argumentación desarrollada durante la respuesta a la cuestión nº3 construida por el equipo de 6 estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales y que 3 meses antes respondieron, con su grupo clase de ciencias sociales, a esta cuestión, actuando el profesor como conductor de la argumentación.

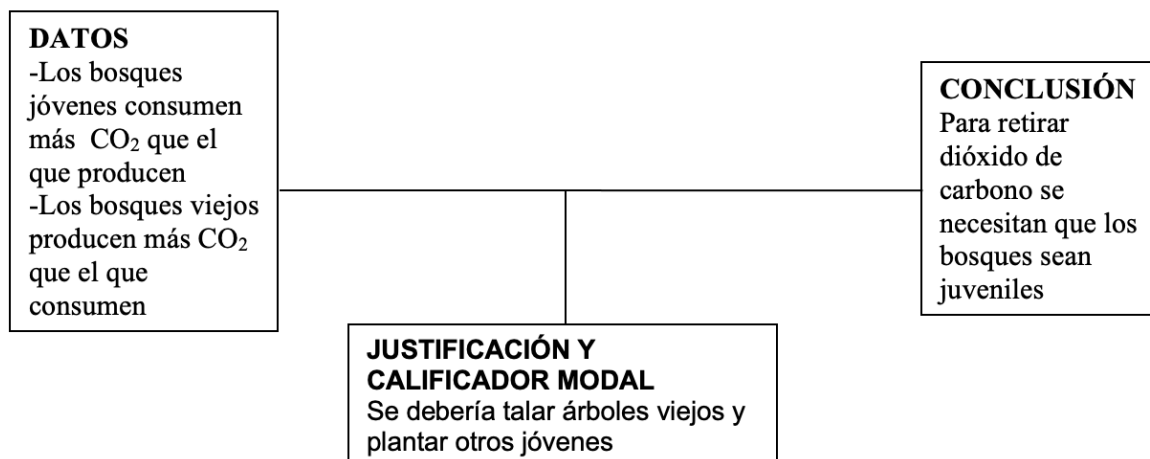


Figura 4.6.9. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la tercera cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en la argumentación construida en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad ciencias sociales sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del cuarto caso.

4.6.7 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la tercera cuestión

En la argumentación de este grupo de trabajo, tres meses después de analizar la exposición y de tener el coloquio dirigido por el profesor, no se usan respaldos científicos relativos a la fotosíntesis, a la respiración y a la descomposición. Tampoco aparece el concepto de selva como comunidad clímax, y por tanto como un ecosistema en equilibrio en el que las emisiones de dióxido de carbono en los procesos de respiración y descomposición están equilibrados con los procesos de fotosíntesis. Aunque no establecen las diferencias de los balances entre fotosíntesis y respiración en los bosques juveniles, comunidades clímax y bosques seniles, la conclusión contiene la representación mental implícita de que los bosques juveniles son sumideros de dióxido de carbono y a medida que pasa el tiempo pasan a un equilibrio, pudiendo llegar a ser, los de árboles viejos, fuentes de emisiones de carbono a la atmósfera. Es posible que el interés económico social, que suelen tener muchos estudiantes de la especialidad, lleve a Sebastián a expresar el interés de talar los árboles viejos para plantar otros más jóvenes. Él sitúa el posible interés de las talas en el momento del equilibrio entre fijación y liberación. En los términos en que argumenta este estudiante no se tiene en cuenta que los bosques templados son sumideros, ni la importancia de las selvas y de otros bosques comunidades clímax en equilibrio en emisiones, como reservorio de biodiversidad, y por tanto no valora la pérdida que supone la tala en ecosistemas maduros como los bosques templados y las selvas tropicales.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de Metodología se le otorga 3 puntos por el apartado de hechos porque Santiago, Sheila y Sebastián enuncian datos hipotéticos y genéricos válidos para entender el cambio de rol de los árboles en el equilibrio de sumidero y fuente, tendiendo a un balance cero a medida que la sucesión avanza hacia la comunidad clímax. En cuanto a la justificación se le otorga también 1 punto porque aparece la formulación a la inversa de Santiago que no le da el apoyo que la justificación requiere, y a la conclusión también se le otorga 1 punto porque, aunque formula una conclusión en términos de conceptualización de un modelo se muestra con dos formulaciones inversas en el conocimiento básico y lleva a interpretaciones incorrectas.

Por tanto, la puntuación del caso es de 5 puntos sobre el total de 9, quedando la calidad de la argumentación, una valoración un punto inferior a la obtenida en la respuesta dada en el coloquio de su grupo clase tres meses antes.

En cuanto a la categorización del mapa del discurso resulta correspondiente al patrón colaborativo de la figura 3.6 del apartado de metodología.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización, siguiendo el esquema de la figura 3.10 de la metodología, se identifica que existe un proceso de modelización plasmado en la construcción de la argumentación por parte de los estudiantes. Pero su grado de desarrollo ontológico no es suficiente para el nivel de modelización que demanda ese nivel de competencia curricular. Aunque establecen las diferencias de balance en fijación y liberación de carbono, no introducen el papel de la fotosíntesis y de la respiración. Por tanto, no se aproxima al modelo a representar en tres bosques con diferentes grosores de flechas descendientes hacia el árbol o la ascendente para las emisiones, por lo que no tiene coherencia suficiente para actuar como modelo de ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular. Esto implica que debe revisarse para introducir las analogías, símiles, y

representaciones infográficas, evaluando al mismo tiempo el grado de acierto y satisfacción del docente y del grupo por su aplicación.

En cuanto a la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la tabla 3.2 que recoge la rúbrica para valorar el proceso de modelización, se le otorga 2 puntos por la iniciativa, autonomía y rigor, por cuanto que expresan en el argumento que construyen un modelo que no es suficientemente claro y/o riguroso, pero comprensible y coherente con el modelo conceptual. Por la evolución y la madurez se le otorga también dos puntos, porque, aunque se expresa un modelo próximo al conceptual de la ciencia se parte, sin oposición alguna de lo expresado por Sheila “*se consideran sumideros de CO₂ las selvas que tienen una edad media que son “jóvenes” (juveniles) que emiten más CO₂ del que absorben*”, que, expresado así a modo de conclusión, se sitúa en el lado opuesto del modelo conceptual de la ciencia. Sebastián no se opone a lo dicho por Sheila, y acaba expresándose en una dirección de no concordancia aceptable entre los hechos y conclusiones cuando afirma que a lo mejor habría que tratar de cortar los viejos para volver a plantar.

La suma de las valoraciones de las dos partes de la rúbrica de la figura 3.2 conlleva una valoración del proceso de modelización de 4 puntos sobre el máximo de 8 puntos.

4.6.8 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

4.6.8.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 4

La figura 4.6.10 recoge la categorización del discurso del equipo de estudiantes de 6 miembros de la modalidad de humanidades y ciencias sociales con el que argumentan para dar respuesta a la cuarta cuestión a la que han respondido 3 meses antes formando parte de su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Argumentan colaborativamente para explicar las causas de la subida del nivel del mar, esta vez sin intervención del docente.

Santiago	<i>¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?</i>	Desafío	AG-DL
Sol	<i>Una de las principales causas de que aumente el nivel del mar es el deshielo de los polos eh... debido al aumento de la temperatura.</i>	Datos, Justificación, Conclusión	AG-EX
Sandra	<i>Lo que ya he dicho antes, que he dicho que el aumento de la temperatura era por lo efecto invernadero, que era producido mayoritariamente por el CO₂. Esto significa que (...) el hielo que está en el Polo Sur está encima de una superficie terrestre y entonces cuando se deshiela.</i>	Datos y Respaldo	AG-EX
Santiago	<i>Es al revés, el que está encima de una superficie es el Norte. El Sur es un bloque de hielo.</i>	Oposición	AA-EX
Sandra	<i>Bueno, pues en el Polo Norte cuando se deshiela el hielo, pues resulta que ese hielo va al mar y entonces hace aumentar el nivel del mar...</i>	Datos y Justificación Oposición	AG-DL

Cámara observador	<i>Es al revés.</i>		
Sandra	<i>Entonces lo estaba diciendo bien. Pues eso, que en el Polo Sur cuando se deshela... porque está encima de la Antártida, el hielo al ir al mar hace que aumente el nivel y en el polo Norte como ya están los bloques de hielo en la superficie del mar, no. Cuando se derrite, pues solo se derriten, pero no aumenta el nivel del mar. “</i>	Datos, Justificación Respaldo y Conclusión	
Sebastián	<i>Cuando hablamos del Polo Sur, hablamos de un gran continente de hielo, de una gran masa de hielo que en el caso de derretirse aumentaría el nivel del mar, con las consecuencias que tendría eso, ya que una consecuencia en el nivel del mar, por muy pequeña que sea, en las zonas de costa se pueden notar grandes cambios.</i>	Datos y Calificador modal	
Sheila	<i>Aquí en nuestro pueblo, el cambio climático tiene consecuencia sobre el nivel del mar. Que el nivel del mar suba se nota mucho porque es un pueblo costero y hace unos años el nivel del mar era mucho más bajo y ahora estamos viendo que las casas y las construcciones intentan hacerse lo más lejos posible para que si el nivel del mar sigue subiendo no les afecte a las construcciones.</i>	Datos, Calificador modal	
Santiago	<i>Y hablando de nuestro pueblo, en el caso de mi casa o así, el terreno fue comido al mar y como todos los paseos, ..., más de 30 metros de costa fuero comidos, y si esto sigue así, llegará un momento que el mar recupere todo lo suyo.</i>	Datos y Calificador modal	

Figura 4.6.10. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sin la intervención del profesor, después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.6.8.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.6.11 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros en la respuesta a la cuestión 4.

Sheila	Sebastián	Sandra	Sol	Santiago	Espacio de interacción
				1.Desafío	
			2.Datos, Justificación y Conclusión		

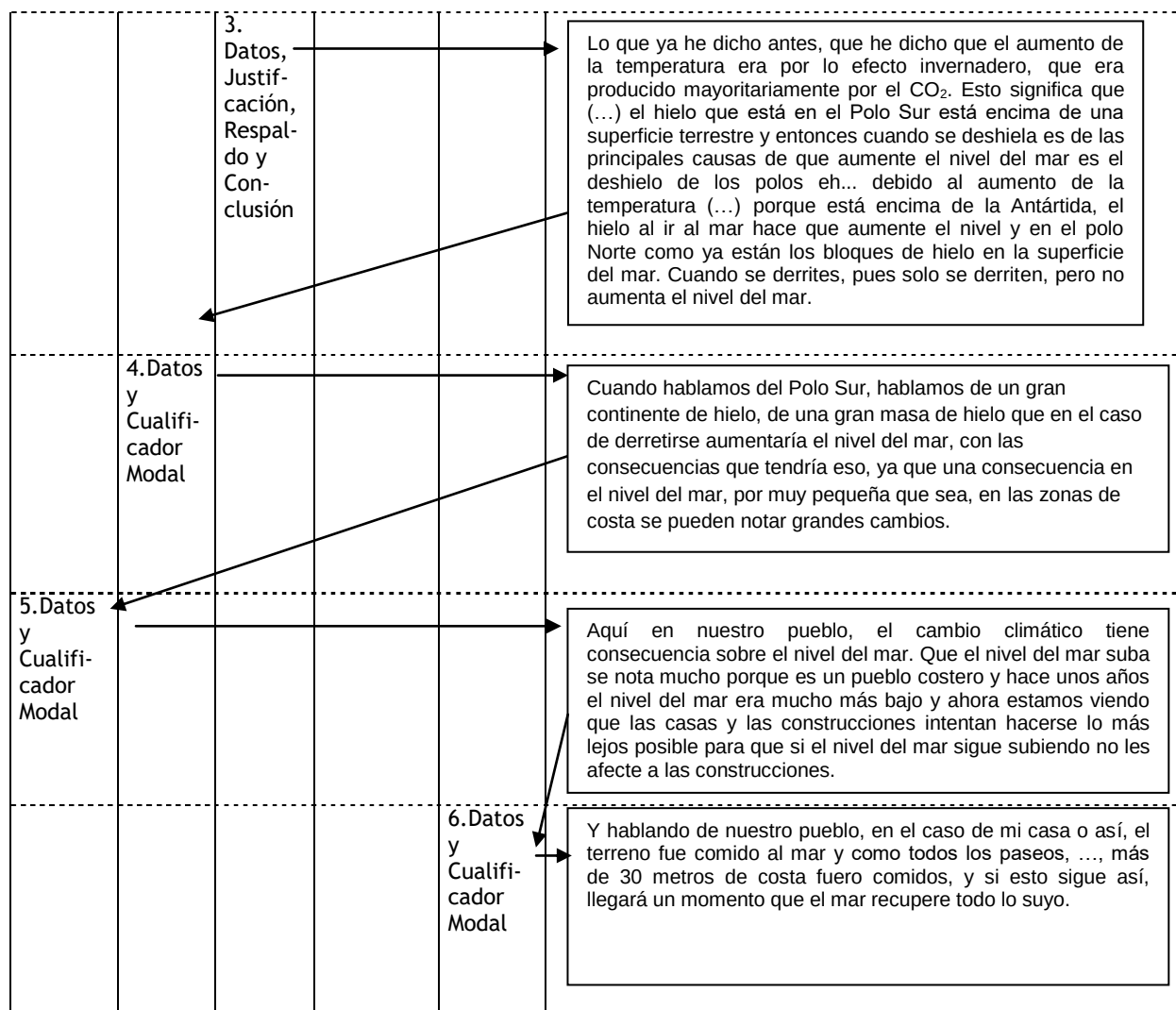


Figura 4.6.11. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de la modalidad de Ciencias Sociales

4.6.8.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 4

En la figura 4.6.12 se presenta el esquema de Toulmin del argumento construido por el equipo de 6 estudiantes del grupo de clase de humanidades y ciencias sociales para dar respuesta a la cuestión 4 que ya han respondido 3 meses antes en el coloquio conducido por el profesor.

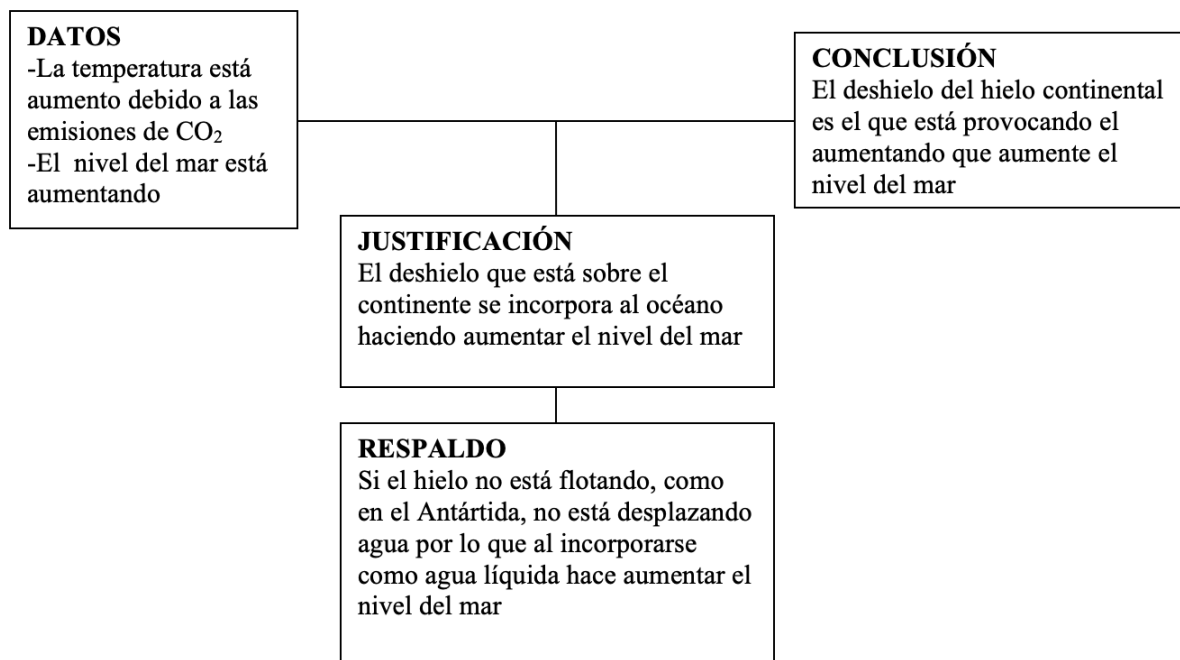


Figura 4.6.12. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la cuarta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de ciencias sociales sin la intervención docente.

4.6.9 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la cuarta cuestión

Al igual que el quinto caso, en este cuarto caso los estudiantes del grupo del trabajo elaboran, sin el apoyo del docente, con rapidez y eficacia, el discurso, sin ningún recurso y por tanto activando los conocimientos retenidos del coloquio conducido por el docente 3 meses antes. Curiosamente Sandra expresa bastante bien el conocimiento básico que actúa como respaldo en la argumentación relativa a esta cuestión.

El liderazgo del discurso lo asumió de nuevo Santiago, asumiendo un rol semejante al del profesor, llegando incluso a corregir a Sandra, cuando expresa que el deshielo de la Antártica que hace subir el nivel del mar, porque está sobre roca. El liderazgo y autoridad de Santiago en el grupo consigue que su idea alternativa, con la que se opone a Sandra, se imponga. El hecho de que de esta forma se pudiese imponer una idea alternativa sustituyendo a la correcta para la ciencia, motivó la participación del cámara observador, que tenía el compromiso de no intervenir, porque para que este estudio caso, al igual que en el quinto, se debe desarrollar sin la intervención del docente. Esta intervención fue clave para evitar que el liderazgo que ejercía Santiago sobre el grupo, con un rol próximo a la docencia, llegara a generar una idea alternativa errónea y apartara el discurso de la línea de argumentación que Sandra estaba desarrollando en la orientación adecuada.

Otro aspecto a destacar del análisis de este estudio de caso, en relación a otros estudios de caso sobre las respuestas a estas cuestiones sobre cambio climático, es la capacidad que los estudiantes muestran para transferir un problema global a nivel local. Esto se evidencia cuando relacionan los impactos en las costas de su pueblo con la subida del mar debido al

cambio climático. En este ejemplo incluso aportan datos que pueden aproximarse a una situación de una zona costera de muy baja pendiente a lo largo de lo que va de siglo. También hacen transferencias interesantes de esta aplicación en lo local y contextual al relacionar este impacto con decisiones relativas a la ordenación del territorio y el urbanismo en estos entornos costeros, un enfoque que no había aparecido hasta entonces.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos a la contribución de los estudiantes habría que otorgarle la puntuación media de 2 puntos porque parten de hechos hipotéticos con coherencia interna, si bien dudan porque no se oponen a la oposición de Santiago. Tampoco se introduce la dilatación térmica. En el apartado de justificación, se le otorga la puntuación de 2b porque se puede aceptar la concordancia entre los hechos y las conclusiones, por tanto, se le asigna la puntuación de 2 puntos. En el apartado de Conclusión se le otorga la puntuación de 3 puntos porque el enunciado de la conclusión explícita con claridad y propiedad a nivel de ciencia escolar el modelo científico coherente.

Por tanto, se le otorga a la calidad de la argumentación 7 puntos del total sobre de los 9 puntos, uno más que en el caso 4 en el que también participaron estos estudiantes.

El mapa del discurso que se representa en la figura 4.6.11 sigue un patrón de secuencia de intervención colaborativa (Hogan et al., 2000) porque 5 de los 6 estudiantes que forman el grupo de trabajo hacen aportaciones sustantivas.

En cuanto al proceso de modelización se observa un evento que contiene un modelo de subida del nivel del mar por deshielo. Se trata de una representación mental que coincide en parte con el modelo científico, con un buen desarrollo ontológico. Pero como en los otros tres casos en los que se aborda esta cuestión, queda ausente el efecto de la dilatación térmica que aporta del orden del 30 % de esta subida del nivel del mar. Como ya se comentó, esto coincide con un sesgo presente en los libros de texto y en la exposición no se aprovechó la oportunidad para fortalecer la consideración de este factor que se mostró como desconocido en los seis casos. Utiliza analogías y hacen una acertada aplicación de los efectos sobre la línea de costa y el urbanismo, apuntando su representación a un modelo plasmable en la pérdida de costas e infraestructuras. Así que sobre el factor del deshielo se puede considerar un modelo de éxito según el esquema de la figura 3.10, pero tendría que ser sometido a una revisión desde el punto 2 de ese esquema para incluir el factor de la dilatación térmica. Esa revisión va en la línea de conseguir los modelos de la ciencia escolar que son frecuentes en los libros de texto. En este caso se debe incluir, en los efectos del cambio climático en la subida del nivel del mar, el factor de la dilatación térmica para que se sume al deshielo del hielo continental.

En cuanto a la valoración de la autonomía, rigor y maduración del proceso de modelización, se le otorga la puntuación de 3 puntos por el patrón 1b. Esto se fundamenta en que expresan en el argumento un modelo comprensible pero no suficientemente claro y riguroso, porque el grupo de trabajo, en su iniciativa y autonomía, acepta la oposición de Santiago a la idea de Sandra, y se impondría la idea alternativa de Santiago si el cámara observador no fuera consciente del riesgo de fijación de una idea alternativa. Pero una vez que se da la intervención del cámara observador, se observa una evolución desde un modelo inicial hasta un más próximo al conceptual, motivo el que el enunciado es válido para la

ciencia escolar con aplicaciones desde lo global a lo contextual. Por lo que se le otorga máxima de 4 puntos.

Por tanto, la rúbrica de la tabla 3.2 del apartado de metodología, se le otorga un total de 7 puntos del máximo de 8 puntos por el valor máximo del proceso de modelización.

4.6.10 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

4.6.10.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 5

La figura 4.6.13 recoge la categorización del discurso generado por el equipo de 6 estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales que argumentan para responder a la quinta cuestión que ya han respondido 3 meses antes, pero esta vez sin formar parte del grupo clase completo en un coloquio dirigido por el profesor. Colaboran para construir la argumentación sobre la relación del uso del carbón y el petróleo con el aumento de la temperatura global sin intervención del docente ni ningún otro recurso didáctico, usando únicamente las representaciones mentales y estrategias de argumentación que retienen de la respuesta en el coloquio que 3 meses antes dirigió el docente.

Santiago	<i>¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?</i>	Desafío	AG-DL
Sebastián	<i>Porque la combustión del carbón y de petróleo eh... produce, emite CO₂ a la atmósfera. Sobre todo, porque el petróleo es empleado en los motores de los coches y ahora mismo es un bien que tenemos casi todos en la casa e incluso más de uno. Por lo tanto, si todos los coches consumen petróleo y emiten CO₂ a la atmosfera, consideramos que es el principal causante del CO₂, del cambio climático.</i>	Datos, Justificación y conclusión	AG-EX
Sandra	<i>En el verano, también hay que destacar que los incendios también cuando se queman los bosques provocan emisiones de CO₂ a la atmosfera.</i>	Datos	AG-EX
Santiago	<i>Carbón y petróleo (dirigiéndose a Sandra).</i>	Oposición y Datos	AA-DL
Santiago	<i>Bueno que volvemos a tratar lo mismo, que el petróleo y el carbón son consumidos tanto en los automóviles como en la industria, que produce CO₂, que está destruyendo la capa de ozono, que están... o sea están provocando todos los problemas que ahora mismo tiene la Tierra. Y bueno, este tema ya está más que tratado.</i>	Datos Justificación, Respaldo y conclusión	AC-EX
Sheila	<i>El carbón y el petróleo fueron muy utilizados durante toda nuestra historia en la industria y ahora mismo también se quiere..., están buscando nuevas fuentes de energía para no consumir tanto petróleo y carbón para que no hagan daño a la atmósfera como puede ser la energía eólica o mareomotriz o así.</i>	Justificación, Respaldo y Conclusión	AG-DL

Figura 4.6.13. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sin la intervención del profesor.

4.6.10.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.6.14 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado por el equipo de 6 estudiantes del grupo clase de humanidades y ciencias sociales para responder a la quinta cuestión.

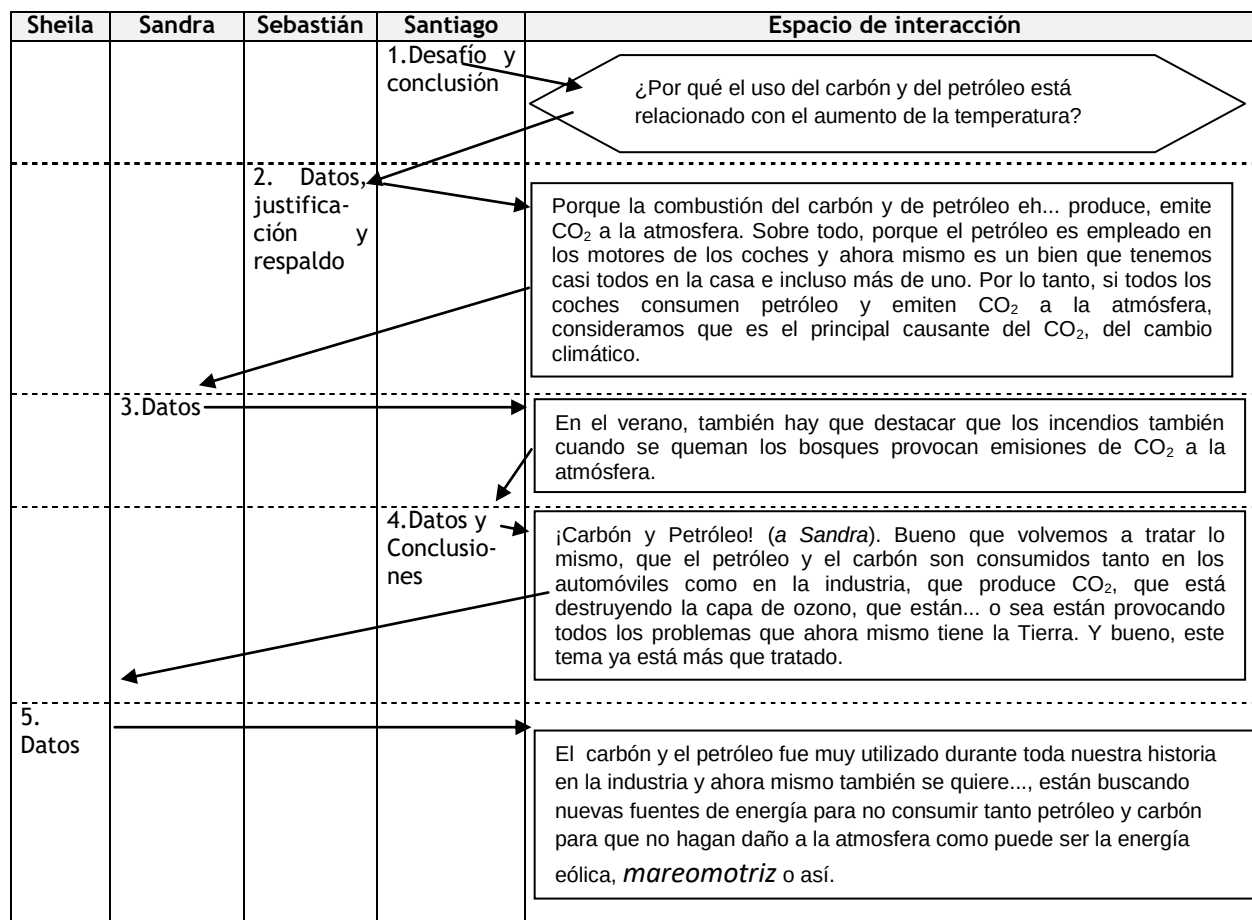


Figura 4.6.14. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor.

4.6.10.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 5

En la figura 4.6.15 se representa en forma de esquema de Toulmin el argumento desarrollado por el equipo de trabajo de seis estudiantes, de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, para dar respuesta a la quinta cuestión sin la intervención del docente.

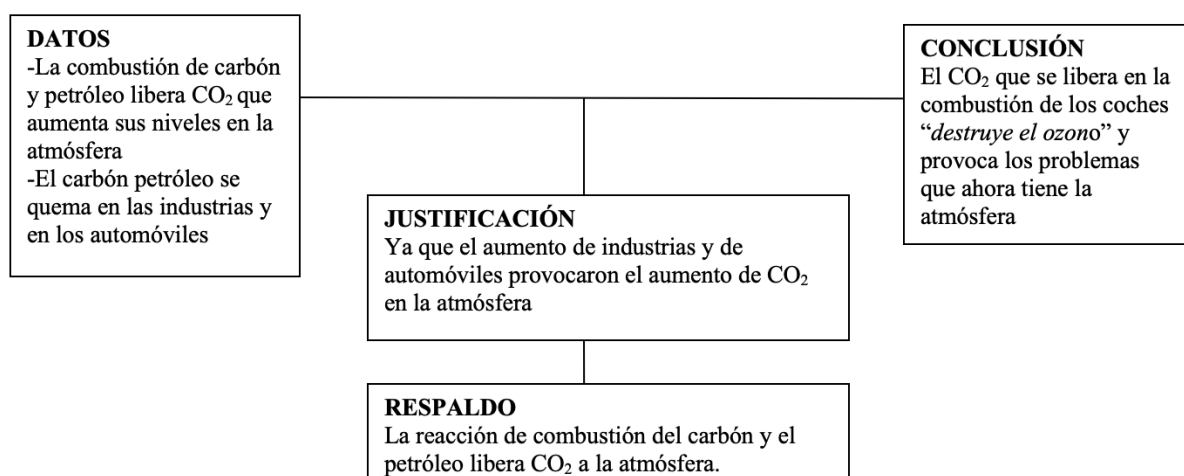


Figura 4.6.15. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la quinta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de ciencias sociales, sin la intervención docente y que tres meses antes participaron en la clase conducida por el docente objeto de estudio del cuarto caso donde participaron en la construcción de la argumentación que dio respuesta colectiva a esta cuestión.

4.6.11 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la quinta cuestión

Santiago ejerce de nuevo el papel de liderazgo con un rol que reproduce estrategias de argumentación que aplicó tres meses antes el docente en la conducción del coloquio en grupo clase para dar respuesta también a esta cuestión. Este rol de liderazgo de estrategia docente queda muy evidenciado cuando Sandra se dispersa de la cuestión formulada al referirse a las emisiones debidas a los incendios del verano. En ese momento Santiago centra el discurso en las combustiones del carbón y del petróleo, que son las que se abordan en este quinto evento de interés.

Sebastián justifica la relación del aumento de dióxido de carbono por el incremento de dióxido de carbono por el aumento de uso debido al incremento de los coches y de las industrias, integrando así las emisiones difusas del tráfico con las industriales, con la consiguiente superación del sesgo industrialista (Heras, 2013). Sin embargo, falta por completo las alusiones al conocimiento básico relativo al aumento del efecto invernadero que provoca este gas, cuando el grupo clase de la modalidad de ciencias sociales, al que pertenecen, usaron con más propiedad este modelo científico en el discurso conducido por el profesor (cuarto caso) que el grupo de la modalidad científico-tecnológica (tercer caso).

El único respaldo lo aporta Santiago, cuando ejerciendo su rol de liderazgo, pretende cerrar el discurso relativo a esta cuestión, y lo hace utilizando un modelo científico equivocado para la pregunta desencadenante del discurso de este quinto caso. El modelo equivocado fue atribuir los impactos del dióxido de carbono a la disminución del ozono, idea alternativa que lo que llevó a establecer una conclusión errónea y debilitó el rigor científico de la argumentación.

En cuanto a la valoración de la calidad de argumentos, aplicando la rúbrica de la Tabla 3.1 de la metodología en el apartado de hechos, los estudiantes se apoyan en hechos hipotéticos con coherencia científica por cuanto que relaciona las emisiones de dióxido de carbono con la industria y las emisiones difusas, superando el sesgo industrialista (Heras, 2013). Pero la introducción del aumento de agujero de la capa de ozono atribuida al dióxido de carbono como explicación del calentamiento, implica partir de hechos sin que se visualice con claridad las conexiones con el conocimiento científico el dato de que el dióxido de carbono disminuye el ozono. Por eso se le asigna la puntuación de 1c (1 punto). Por el mismo dato se considera que en la justificación no existe un apoyo explícito ni implícito de un conocimiento básico en la justificación, no apareciendo tampoco alusión alguna al efecto invernadero, motivo por el que se le asigna la puntuación del patrón 2c (1 punto). Por último, y en base al mismo dato y razonamiento, se considera que la conclusión no tiene relación clara con el modelo, asignándole el valor del patrón de 3c (1 punto).

Por tanto, se le asigna a la calidad del argumento la valoración global de 3 puntos del máximo de 9 puntos que se pueden asignar desde los patrones de referencia de la rúbrica de la tabla 3.1.

Con respecto a la categorización del mapa del discurso se ubica en la categoría colaborativa (Hogan et al., 2000) porque en su desarrollo hacen aportaciones 4 de los 6 estudiantes que forman este equipo de trabajo.

En cuanto al análisis del método de modelización que se hace siguiendo el esquema de flujo de la modelización expresado en el apartado 3.10 de Metodología, la respuesta se comporta como un evento en el que se relaciona la combustión del carbón y el petróleo con las emisiones de dióxido de carbono, pero no lo hace con el desarrollo ontológico que demanda la respuesta a la cuestión para ese nivel de competencia curricular. No aparecen analogías y símiles que ayuden a una evolución desde modelos mentales iniciales y en la evaluación del acierto de alternativas no están claves para modelizar sobre la relación entre el dióxido de carbono y el calentamiento. Por tanto, no se lleva a visualizar un modelo representable a nivel gráfico, esquemático y/o infográfico con un concepto central y que sirva para dar una respuesta satisfactoria a la pregunta. Por eso se considera que no tiene coherencia curricular como un modelo de ciencia escolar para ese nivel de competencia curricular y debe revisarse para que logre evolucionar desde la inclusión de la idea alternativa de aumento del agujero de la capa de ozono por las emisiones de dióxido de carbono.

En la valoración del proceso de modelización siguiendo los patrones de referencia de la rúbrica de la tabla 3.2 se le asigna por la iniciativa y autonomía y rigor se considera que el grupo tiene la iniciativa y autonomía necesarias para llegar a compartir un modelo, pero sin la suficiente claridad, rigor y validez para tener consideración de modelo de ciencia escolar. Por tanto, por la primera parte se le otorga la puntuación del patrón de referencia 1d (1 punto). Por la segunda parte de la rúbrica de la figura 3.2, se considera que logran que la argumentación avance hacia un modelo más evolucionado, pero sin la consistencia suficiente para ser adoptado por la ciencia escolar, por lo que se le asigna la puntuación del patrón de referencia 2c (2 puntos).

Por tanto, el proceso de modelización queda con una valoración global de 3 puntos del máximo de 8 puntos que se pueden asignar con la rúbrica de la tabla 3.2.

4.6.12 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

4.6.12.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 6

La figura 4.6.16 recoge la categorización del discurso del equipo de trabajo de seis estudiantes del grupo de la modalidad de ciencias sociales argumentando sobre la naturaleza del carbón y del petróleo como recursos no renovables sin intervención del docente.

Santiago	<i>¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?</i>	Desafío	AG-DL
Sol	<i>Pues porque se encuentran en la Tierra en cantidades limitadas, y una vez que se exploten todas las posibilidades que hay, se acabarían y no tendríamos más.</i>	Datos, Justificación	AG-EX
Sandra	<i>Y también hay que destacar que esas energías tardan mucho tiempo en hacerse.</i>	Datos	AG-EX
Sebastián	<i>Pero ahora el carbón y el petróleo están muy integrados en nuestra sociedad como para pensar que en un año determinado tendremos que prescindir de ellos, por eso, ahora mismo yo el cambio no lo veo tan claro como un día que nos digan que se acaba el petróleo o que o tenerlo ya sea muy caro, entonces no sé, como tal y como está integrado en nuestra sociedad no comprendo cómo puede ser el cambio de un año para otro.</i>	Datos y Calificador modal	AG-EX
Sandra	<i>Hoy en día muchas empresas ya están empezando a construir paneles solares para las casas, para en vez de tener que... (dirigiéndose a su compañero) en vez de tener que, bueno, electricidad a través del gasóleo o del petróleo o así pues tenerla a través del Sol.</i>	Datos	AA-EX
Santiago	<i>Me descolocas Sandra. Eh, lo que decía Sebastián, que el cambio no se puede hacer de un año para otro obviamente, pero ya estamos introduciendo tanto energía eólica como hidráulica como lo que sea, que en Galicia ya hay muchísimos aerogeneradores, después también hay algún que otro... muchas presas también, cosas que vamos introduciendo y aunque así, algún momento se acabará el petróleo en algún momento se acabará el carbón y habrá que... habrá que llevar con calma la cosa.</i>	Datos	AA-EX

Figura 4.6.16. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sin la intervención del profesor después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.6.12.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.6.17 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso generado

por el equipo de 6 estudiantes del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para responder a la sexta cuestión sin la participación del docente.

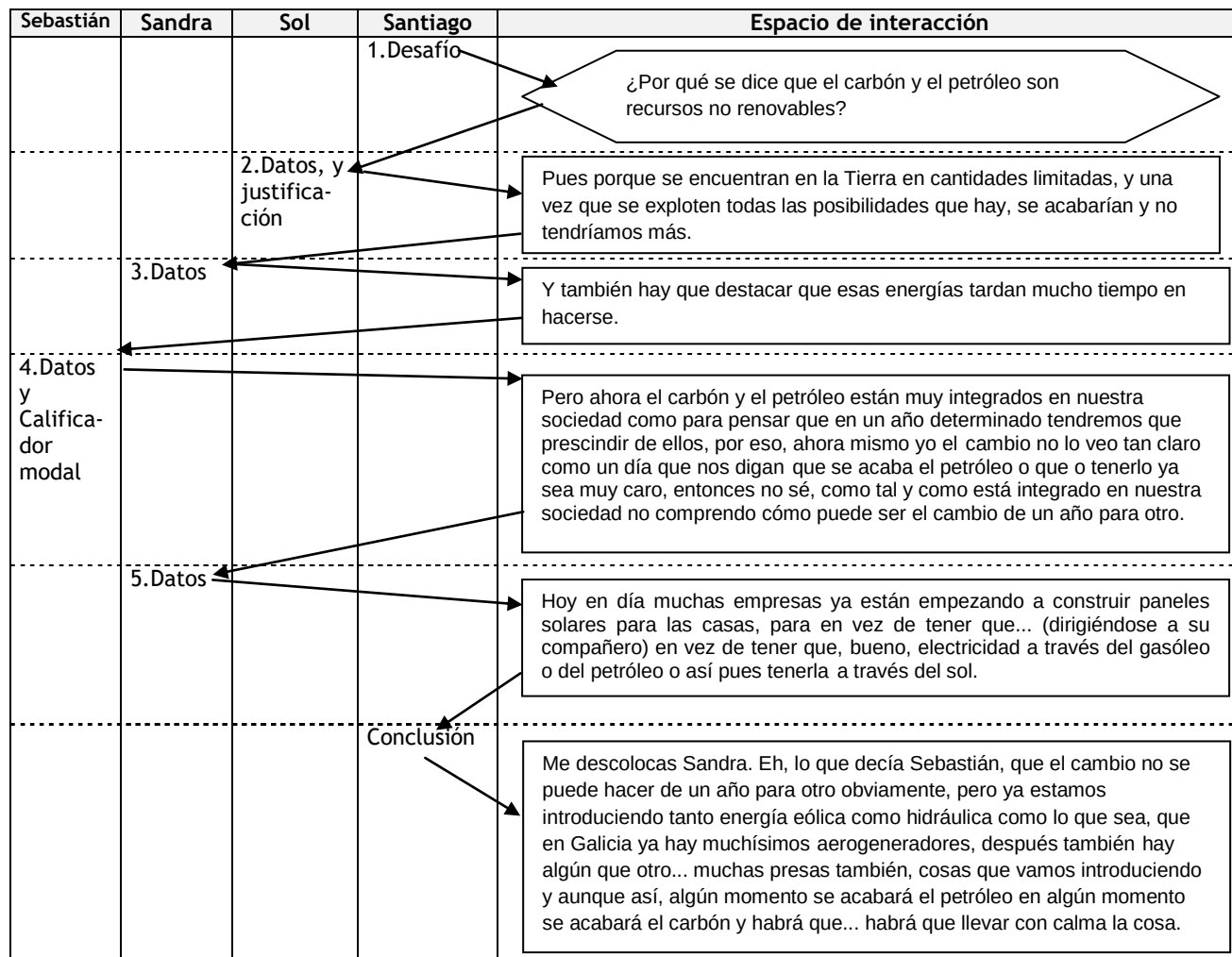


Figura 4.6.17. Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de la modalidad de ciencias sociales

4.6.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 6

En la figura 4.6.18 se representa el esquema de Toulmin del argumento desarrollado por el equipo de trabajo de 6 estudiantes de la clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para dar respuesta a la sexta cuestión sin la intervención del docente.

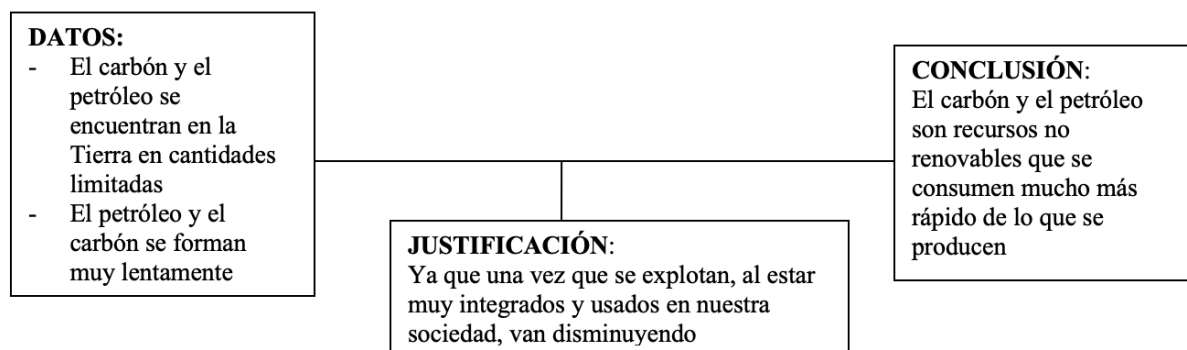


Figura 4.6.18. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la sexta cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase ciencias sociales sin la intervención docente.

4.6.13 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la sexta cuestión

En la argumentación contenida en el discurso de esta sexta cuestión por parte de este equipo de trabajo de 6 estudiantes de humanidades y ciencias sociales se observan menos rigor que en el del grupo de trabajo de los seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológico (quinto caso) y también que en el de su intervención en el coloquio dirigido a la totalidad del grupo clase de humanidades y ciencias sociales (cuarto caso). En este caso la referencia al conocimiento básico relativo a la formación del carbón y del petróleo no aparece en ningún momento a lo largo del desarrollo del discurso, lo que puede explicarse en la ausencia de los conocimientos geológicos que abordan los estudiantes de la modalidad científico – tecnológico que cursan las materias de Biología y Geología de 4º de ESO y 1º de Bachillerato.

El discurso discurre hacia el ámbito de la implicación socio económico, lo que también se puede explicar desde las implicaciones que tiene su modalidad en relación al estudio de estas cuestiones.

En relación a la evaluación de calidad del discurso, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 de Metodología, a los hechos hipotéticos que manejan los estudiantes se le otorga la puntuación de 1 puntos porque los hechos no explicitan con claridad el conocimiento científico. A la justificación también se le otorga 2 puntos porque establecen una concordancia aceptable al asociarse al establecer la relación entre la conclusión y las diferencias de tiempo entre la formación y el consumo. A la conclusión se le otorga la puntuación de 1 puntos porque, aunque formulan una conclusión esta no expresa ninguna relación con un modelo ciencia escolar.

Por tanto, la calidad del discurso queda valorada en un total de 4 puntos del total de 9 puntos que se pueden otorgar con los patrones de la rúbrica de la tabla 3.1.

En cuanto a la categorización del mapa de discurso obtenido este se corresponde con la representación de un patrón de secuencia de intervención de la categoría colaborativa (Hogan et al, 2000) que se representa en la figura 3.6 porque intervienen 4 de los 6 estudiantes que forman el equipo de trabajo.

En lo que respecta al análisis de la modelización, no se identifica un proceso significativo de modelización porque no se explicita con claridad un proceso geológico de formación petróleo y del carbón ni se entra en las formas aceleradas actuales de consumo. Eso ya ocurrió también en el discurso de cuando se implicaron en la respuesta a la misma cuestión mediante el coloquio conducido por el docente (caso 4).

4.6.14 Resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

4.6.14.1 Categorización de la argumentación de la respuesta a la cuestión 7

La figura 4.6.19 recoge la categorización del discurso del coloquio dirigido por el profesor para indagar sobre el efecto del cambio climático sobre los bosques en la respuesta a la séptima cuestión formulada para argumentar sobre los efectos que tiene el cambio climático sobre los bosques formulada en la séptima cuestión sin intervención del docente.

Santiago	<i>¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?</i>	Desafío	AG-DL/PR
Sheila	<i>Eh... antes ya hablamos de los bosques y de su emisión y absorción de CO₂ porque, como dijo Sebastián antes, son una parte fundamental del cambio climático que... que afecta muchas veces de manera negativa porque aumenta el CO₂ y esto hace que aumenten las temperaturas y que el clima de una ciudad a otra varíe mucho. En Galicia se está intentando en muchas zonas replantar los bosques para que la emisión del CO₂ non sea tan notable y también el verano pasado, sobre todo, hubo muchos incendios por toda Galicia y esto provocó que el cambio climático se acentuase en ese momento.</i>	Justificación y Conclusión	AG-EX
Santiago	<i>¡Qué rapidez!</i>	Acuerdo	AG-EX

Figura 4.6.19. Categorización de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climática “¿Cambia el clima?” en el grupo de seis estudiantes de la clase de la modalidad de ciencias sociales sin la intervención del profesor, después de argumentar sobre esta cuestión tres meses antes en coloquio conducido por el profesor.

4.6.14.2 Diagrama del flujo del discurso de la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.6.20 se representa en forma de “mapa de discurso” el proceso cronológico y el contenido del pensamiento colaborativo desarrollado en el discurso construido por el equipo de 6 estudiantes del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales para responder a la séptima cuestión sobre los efectos del cambio climático sobre los bosques.

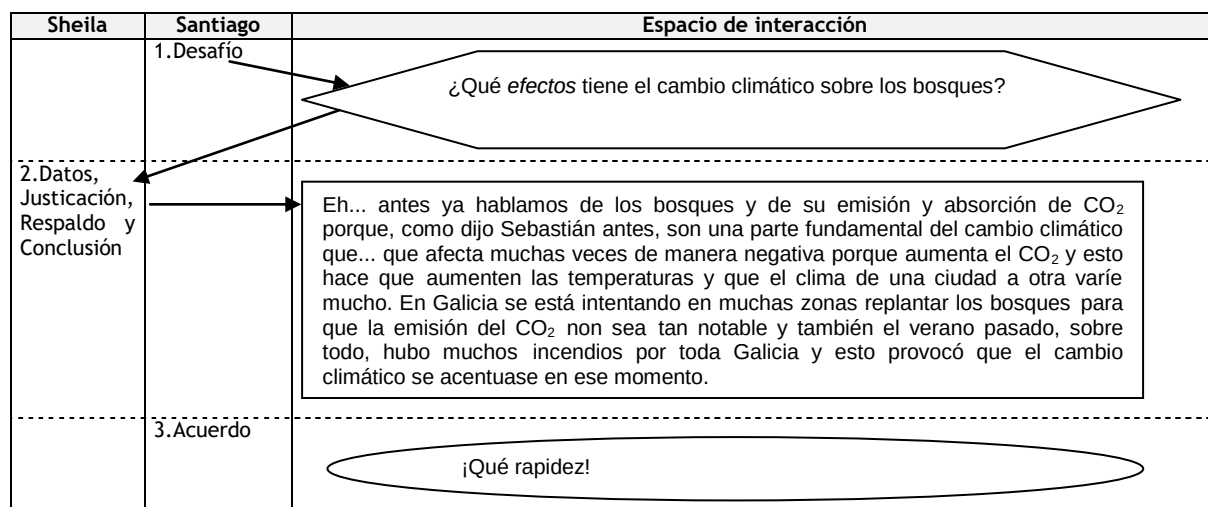


Figura 4.6.20 Mapa del discurso de la argumentación y de las interacciones de los turnos de intervención en la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” de los seis estudiantes sin la intervención del profesor y que tres meses antes argumentaron en coloquio conducida por el profesor en la clase de la modalidad de ciencias sociales.

4.4.12.3 Esquema de Toulmin de la argumentación en la respuesta a la cuestión 7

En la figura 4.6.21 se representa el esquema de Toulmin del frustrado, por incompleto, argumento con el que el grupo de trabajo de 6 miembros del grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales da respuesta a la cuestión 7.

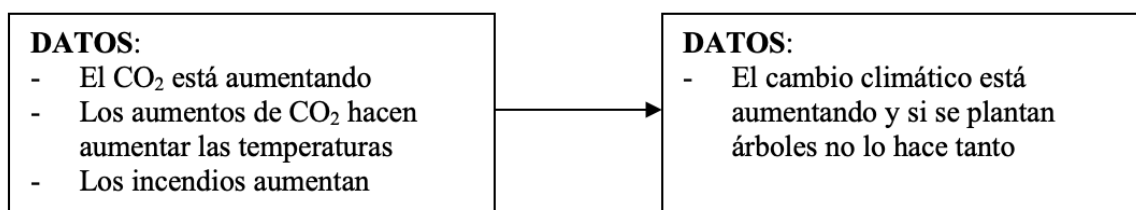


Figura 4.6.21. Representación de la argumentación mediante esquemas de Toulmin del discurso correspondiente a la búsqueda de la respuesta a la séptima cuestión relativa a la exposición de Cambio climático sobre la Unidad 1 de Climántica “¿Cambia el clima?” en el discurso generado en el grupo de seis estudiantes de la clase ciencias sociales sin la intervención docente (argumento incompleto).

4.6.15 Interpretación, valoración y discusión de los resultados de la secuencia de discurso relativo a la séptima cuestión

Una vez más Santiago ejerce, al igual que la búsqueda de respuesta las demás cuestiones, el liderazgo de la conducción del discurso, asumiendo un rol semejante al que ejerció el docente tres meses antes

La formulación que hace Sheila no resulta clara a efectos de analizar la argumentación, por lo que en este evento de interés no se logró obtener un esquema de Toulmin completo por la ausencia de una justificación clara.

En la aceptación de una argumentación de Santiago que cerró la argumentación pudo pesar la presión del tiempo.

En relación a la evaluación de calidad de la argumentación, siguiendo la rúbrica de la tabla 3.1 Metodología, los hechos hipotéticos que manejan los estudiantes no permiten visualizar la claridad el conocimiento científico implicado en el argumento, motivos por el que se le asigna la puntuación de 1 punto correspondiente al patrón 1c. En cuanto a la justificación, no existe un apoyo ni explícito ni implícito de un conocimiento básico en la justificación, motivo por el que se le asigna la puntuación mínima del patrón 2c (1 punto). Por todo lo razonado hasta aquí, la conclusión no queda formulada en términos de un modelo, motivo por el que se le asigna también la puntuación mínima correspondiente al patrón 3c (1 punto).

Por tanto, se valora la calidad del argumento en 3 puntos del máximo de 9 puntos que se puede obtener por los patrones de referencia de valoración máxima de la rúbrica de la tabla 3.1.

En cuanto al patrón que sigue el flujo del discurso, este se ubica con bastante claridad en la categoría consensual (Hogan et al., 2000), porque solo Sheila hace una declaración sustantiva que el grupo acepta como una argumentación válida al no oponerse.

En relación al proceso de modelización, no se cumple con claridad el paso uno del esquema de la figura 3.10 de la Metodología, que permite analizar y valorar el proceso de modelización. Por tanto, no llega a visualizarse en el discurso eventos de modelización clara, motivo el que no se considera relevante el proceso de modelización seguido.

4.4.18 Discusión conjunta y conclusiones e implicaciones didácticas

La discusión conjunta de los resultados del discurso, argumentación y modelización orientada a indagar sobre la retención estrategias de argumentación y conocimientos básicos asimilados tres meses antes en la co-construcción de argumentaciones conducidas por los docentes y analizar en qué medida pueden variar los resultados si el docente no interviene.

Siguiendo la orientación del objetivo específico del caso, se han buscado respuestas a las dos sub-preguntas particulares de este caso de co-construcción de la argumentación de un equipo de 6 miembros del grupo de humanidades y ciencias sociales para responder a las 7 primeras cuestiones por segunda vez, esta vez sin el rol director de la argumentación del docente y recuperando en su memoria lo asimilado 3 meses antes con la argumentación conducida por el docente en el coloquio dirigido a toda la clase para responder a las cuestiones.

En el análisis y discusión para extraer las conclusiones e implicaciones educativas relativas a la argumentación y modelización de este grupo de 6 estudiantes de humanidades y ciencias sociales, sin intervención docente, usando únicamente lo retenido en la estructura cognitiva tres meses antes, se siguió la orientación del objetivo concreto del caso:

- Conocer en qué medida el grupo pequeño de estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, sin la participación del docente, aplican lo retenido en su estructura cognitiva de las estrategias de argumentación y de la validez de

argumentos y modelos asimilados tres meses antes en la co-construcción de argumentaciones conducidas por el docente respondiendo a las mismas preguntas.

Siguiendo esta orientación, se llega a estas conclusiones e implicaciones didácticas desde las respuestas a las dos sub-preguntas particulares del caso:

1. ¿En qué medida está influyendo en la argumentación la retentiva de las estrategias, argumentos y modelos que usó el docente 3 meses antes en el coloquio para el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica?
2. ¿En qué medida la modalidad científica-tecnológica está influyendo en la argumentación y en la modelización del grupo pequeño sin docente ni consulta de materiales?

4.4.18.1 Discusión, conclusiones e implicaciones didácticas relativas a la sub-pregunta 1

Con el profesor (caso 4) se logró una mayor profundidad en los conocimientos científicos básicos, aunque en este caso se encuentra una argumentación más clara y fluida en el efecto del deshilo sobre la subida del nivel de mar. Sobre las estrategias de argumentación los estudiantes líderes adoptan del docente las estrategias que este siguió en la formulación de retos y desafíos. Pero usan menos recursos metacognitivos para lograr relaciones coherentes de datos y modelos de conocimiento científico básico necesario para dar respuesta a las cuestiones. Por eso de la respuesta a esta primera pregunta se concluye:

- No se explicita la relevancia del aumento del efecto invernadero en el cambio climático, que, si se hacía en el caso cuarto, con la intervención del profesor.
 - La relevancia del grado, en términos de temperatura media global, quedó mejor argumentada con la intervención del profesor.
 - Con el profesor se consigue analizar más cuestiones, y la argumentación es más extensa, usando el docente recursos metacognitivos para hacer aflorar las representaciones mentales iniciales e impulsar su maduración.
 - Los estudiantes líderes imitan las estrategias que el docente usa para retar a los colegas para argumenten.
1. Pregunta de investigación 2: ¿Qué aspectos de la modelización desarrollada en el grupo clase de ciencias sociales tres meses antes permanece ahora y que aspectos nuevos de modelización aparecen en la argumentación de este equipo de seis miembros?

4.4.18.1 Discusión, conclusiones e implicaciones didácticas relativas a la sub-pregunta 2

Este equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales sigue mostrando fortalezas en argumentaciones que requieren de representaciones mentales sobre el clima. También lo hacen en cuestiones de territorio como aplicar en zonas planas que un aumento de 1 cm puede suponer retrocesos de cerca de 1 m en zonas litorales, y esto a pesar de disminuir las interpelaciones de carácter metacognitiva y la asesoría del conocimiento científico docente. Siguen estando presentes las relaciones con cuestiones socioeconómicas en aquellas cuestiones que tengan claras relaciones con estos ámbitos de conocimiento en los que se están especializando. Eso les permite encontrar pautas de argumento que lleven a ampliar las representaciones mentales hacia dimensiones de representaciones sociales que le dé más capacidad de aplicación de esos modelos mentales con evolución hacia la integración socioeconómica.

Cuando las argumentaciones requieren conocimientos propios de las ciencias experimentales como la fotosíntesis, la respiración celular, los tipos de radiaciones, del proceso de fosilización, la pérdida de la presencia orientadora del docente resulta ser crítica, algo que no pasó en el caso homólogo del equipo del grupo clase de la modalidad científico tecnológico, en el que los estudiantes se defendieron bien sin el docente para introducir esos conocimientos básicos en la argumentación. Aquí se nota que, al no estar el docente en este tipo de argumentaciones que requieren modelos del ámbito científico tecnológico, decaen las argumentaciones. Esto es así no solo porque el docente no aporta datos e interpela para activar la aplicación de representaciones mentales, sino también porque se pierde la oportunidad de que ponga en cuestión las ideas alternativas de los estudiantes, que al ser menor la especialización en ciencias y tecnología, pueden aflorar más. En la modelización se evidencia que la argumentación de tres meses antes facilitó la retención eficaz de información hasta el punto de que recuerdan quien aportó los elementos de la argumentación.

De lo interpretado hasta aquí para responder a la segunda sub-pregunta particular del caso se concluye que:

- En el discurso conducido tres meses antes por el profesor en este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se ha puesto de manifiesto el uso de los conceptos y procesos de fotosíntesis y respiración, que aquí se echan de menos.
- Los estudiantes, sin la intervención del profesor, avanzan menos en los aspectos metacognitivos que hacen aflorar elementos claves para la argumentación.
- La comparación de la argumentación de los estudiantes en grupos de trabajo de seis estudiantes, sin la intervención del docente, pone de manifiesto que los estudiantes necesitan conocimientos básicos de ciencias y usan modelos distantes de los de la ciencia escolar.
- Interesa un conocimiento básico de ciencia escolar para todo el alumnado, previo a la especialización, que fortalezca la dimensión socioeconómica del cambio climático, algo que la presencia del docente parece compensar.
- La vinculación del uso de combustibles fósiles, de las energías renovables interesa vincularlo con conocimientos interdisciplinarios con los ámbitos de conocimiento socio económicos.

- El enfoque economicista sobre la tala de árboles viejos para plantar otros pone de manifiesto la necesidad de que los estudiantes tengan en cuenta los procesos de mineralización en el suelo, por lo que se deben generar propuestas didácticas que logren una integración de más aspectos sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

Desde estas conclusiones se extraen las siguientes implicaciones didácticas:

- En la enseñanza del clima y de las implicaciones socio económicas y geográficas en las ciencias sociales hay que buscar enfoques didácticos interdisciplinarios para interpretar cuestiones como la formación del carbón y del petróleo, la relación de la formación de dióxido de carbono en combustiones, la retención de radiación calorífica por los gases efecto invernadero, etc.
- Interesa vincular la enseñanza de los modelos de ciencia escolar del cambio climático con sus implicaciones sociales y económicas en todas sus dimensiones, integrando siempre la toma de posición sobre prácticas individuales y sociales en la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Se deben diseñar itinerarios formativos, planes de formación inicial y continua del profesorado para que los profesores de ciencias sociales se hagan con los conocimientos básicos de la ciencia escolar que fortalezca su ámbito y a la inversa con los profesores de ciencias de la naturaleza en lo relativo a los conocimientos socioeconómicos vinculados a los impactos, mitigación y adaptación al cambio climático.
- Interesa fomentar la vinculación de la enseñanza de las ciencias del cambio climático con procesos de construcción colectiva de argumentos porque eso mejora la modelización y la retención de fácil aplicación a medio y largo plazo.
- Se deben desarrollar andamiajes para que los estudiantes integren en sus modelos mentales los efectos del cambio climático los procesos de mineralización.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN GENERAL

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se integra la discusión general y comparativa que resulta de la búsqueda de respuestas a las tres preguntas de investigación principales (PI1, PI2 y PI3), apoyándose para responder a PI3 en las tres sub-preguntas de comparación de casos: SPCC1 (casos 3 y 5), SPCC2 (caso 4 y 6) y SPCC3 (casos 5 y 6, teniendo presente también las respuestas obtenidas de SPCC1 y SPCC2, y en menor medida las de PI2). Para conseguir estas respuestas se siguen los cinco objetivos de investigación (O1, O2, O3, O4 y O5) que se enuncian en los siguientes términos:

- Analizar el proceso de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos, así como las interacciones que se producen durante unas sesiones de clase sobre ciencias del suelo, en las que estudiantes de secundaria, en pequeño grupo y en gran grupo, dan respuesta a preguntas relativas a la edad, origen, factores de formación, fertilidad y comportamiento del suelo, y donde el papel del docente es dirigir la actividad de ocho equipos de trabajo (O1).
- Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen estudiantes de bachillerato de dos grupos clase, uno de la modalidad científico-tecnológica y otro de la de humanidades y ciencias sociales, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio dirigido por el docente (O2).
- Comparar las diferencias en los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático en un coloquio dirigido por el docente, los estudiantes de los grupos clase de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (O3).
- Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan estudiantes de bachillerato argumentando en dos grupos pequeños, uno de cada grupo clase de cada una de las dos modalidades, tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio sin la participación del docente (O4).
- Comparar las diferencias en el proceso de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan, tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, los dos grupos pequeños de estudiantes de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, en un coloquio sin la participación del docente (O5).

Los cinco objetivos de investigación (O1, O2, O3, O4 y O5) orientan las respuestas de las tres preguntas de investigación principales que estructuran la discusión. Para responder a la primera pregunta de investigación principal (PI1) se sigue la orientación del primer objetivo de investigación (O1). Para responder a la segunda pregunta de investigación principal (PI2) se siguen las orientaciones de los objetivos de investigación segundo y tercero (O2 y O3). Por último, para responder a la tercera pregunta de investigación principal (PI3) se siguen las orientaciones de los objetivos de investigación cuarto y quinto (O4 y O5). Las tres preguntas de investigación principales quedan enunciadas así:

PI1: *¿Cómo interaccionan los estudiantes en el uso de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo diseñada para que los grupos pequeños sólo necesiten del docente en orientaciones puntuales en la búsqueda de información y como desarrollan, mediante esas interacciones en grupos pequeños, sus capacidades de argumentación y de modelización?*

PI2: *¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo de clase de la modalidad científico – tecnológica y en el grupo de clase de humanidades y ciencias sociales?*

PI3: *¿En qué medida se mantiene en la estructura cognitiva la validez de los argumentos y modelos construidos tres meses antes cuando, un equipo de seis estudiantes de cada modalidad, responden a las mismas cuestiones tres meses después?*

La respuesta general a esta tercera pregunta de investigación (PI3) requiere, por el carácter comparativo, de las respuestas de tres sub-pregunta de comparación de casos (SPCC1, SPCC2 y SPCC3) que se formulan para conseguir respuestas comparativas derivadas del análisis de la retención cognitiva del desarrollo de las capacidades de argumentación y modelización. Las respuestas la sub-pregunta SPCC1 se obtienen desde la comparación de los casos 3 y 5 (con el apoyo de datos de la tabla 5.3), las de SPCC2 desde la comparación de los casos 4 y 6 (con el apoyo de datos de la tabla 5.4) y las de SPCC3 desde la comparación de los casos 5 y 6 (con el apoyo de datos de la tabla 5.5, teniendo también presentes la comparativa de las respuestas a SPCC1 y SPCC2, y en menor medida las respuestas de PI2). Estas tres sub-preguntas de comparación de casos quedaron enunciadas en estos términos:

- **SPCC1:** *¿Qué se retiene y qué cambia en los argumentos y modelos que se desarrollan en el equipo de seis estudiantes en comparación con los desarrollados tres meses antes en el coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad científico-tecnológica de 1º de Bachillerato? (comparación de casos 3 y 5)*
- **SPCC2:** *¿Qué se retiene y qué cambia en los argumentos y modelos desarrollados por el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en comparación con los desarrolladas tres meses antes en el coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de 1º de Bachillerato? (comparación de los estudios de caso 4 y 6).*
- **SPCC3:** *¿Cómo influye la modalidad en la validez de los argumentos y de los modelos retenidos en la estructura cognitiva de los seis estudiantes de cada una de las modalidades que responden a las mismas preguntas que contestaron 3 meses después*

del coloquio conducido por el docente? (comparación de los estudios de caso 5 y 6, teniendo presente la comparativa de las respuestas a SPCC1 y SPCC2).

La discusión se estructura, siguiendo estas preguntas de investigación, a partir del esquema de la figura 3.1 del apartado de Metodología que representa la integración y convergencia de los casos implicados en el estudio.

5.2 DISCUSIÓN SOBRE FERTILIDAD DEL SUELO EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA BÁSICA.

En este apartado se comparan los procesos de argumentación y modelización seguidos por los estudiantes, donde el rol del docente consistió básicamente en que los estudiantes se esforzaran en expresar sus ideas, y sólo como último recurso proporcionó información cuando los estudiantes se la demandaron. Los estudiantes disponían de un dossier con información relevante para la resolución de las tareas, que era la parte de la unidad didáctica que se estaba trabajando en ese momento, y el portfolio correspondiente para el registro de las respuestas.

En la tabla 5.1 se muestran las preguntas cuyas respuestas generaron las capacidades de argumentación y los procesos de modelización sobre ciencias del suelo. Estas preguntas van acompañadas de valoraciones de los resultados de la argumentación y modelización y de la categorización del diagrama de flujo.

Tabla 5.1. Valoraciones de la argumentación, modelización y patrón del flujo del discurso seguido por las cuestiones relativas a la formación, fertilidad y comportamiento del suelo ante eventos extremos de inundaciones y sequías (casos 1 y 2).

Pregunta	Valoración de la argumentación (sobre 9)	Valoración de la modelización (sobre 8)	Patrón del flujo del discurso
¿Cuál será a edad del suelo, entre 1 y 100 años, entre 100 y 15.000 años o de un millón de años en adelante o son tan antiguas como la Tierra?	3	2	Receptivo
¿De dónde proceden los materiales que forman los suelos? ¿Se encuentra siempre encima de los materiales que los originaron?	3	2	Colaborativo
¿Qué factores influyen en la formación del suelo en condiciones de clima continental?	7	6	Colaborativo
¿Por qué los suelos abonados con estiércol son más fértiles que los abonados con fertilizantes inorgánicos?	7	5	Colaborativo
¿Por qué los suelos arenosos gallegos, si no son de regadío, secan en el verano?	8	7	Receptivo
¿Por qué se encharcan los suelos arcillosos en el invierno y presentan grietas de retracción en el verano?	7	8 (coherente microscópico)	Colaborativo

¿Qué retiene más agua en el experimento, el agua, la arena, la arcilla o el humus?	6	6	Receptivo
¿Existe alguna relación entre los distintos colores del agua filtrada en la práctica y la capacidad de retención?	6	2	Receptivo

Los resultados de la tabla 5.1 clarifican la respuesta a la primera pregunta de investigación principal (PI1), siguiendo la orientación del primer objetivo de investigación (O1). En general, exceptuando en la respuesta a la novena cuestión (última fila de la tabla 5.1) existe una concordancia entre las valoraciones de la argumentación y la modalización, lo que resulta de interés para la respuesta a PI1:

PI1 *¿Cómo interaccionan los estudiantes en el uso de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo diseñada para que los grupos pequeños sólo necesiten del docente en orientaciones puntuales en la búsqueda de información, sin exponer nunca contenidos, y como desarrollan, mediante esas interacciones en grupos pequeños, sus capacidades de argumentación y de modelización?*

Para dar respuesta a esta pregunta se deben analizar los aspectos cognitivos que se desarrollan en las estrategias de argumentación y que conducen a la modelización en dos dimensiones clave para interpretar la relevancia del cambio climático sobre la fertilidad del suelo y la seguridad alimentaria. El análisis incluye tanto las estrategias de argumentación, necesarias para regular los procesos mentales básicos que lleven a la evolución de sus modelos mentales iniciales hacia una construcción colectiva de modelos que puedan compartir e integrar en su cognición, como la validez de los argumentos y modelos desarrollados. Esta construcción la realizan a través de una constante interanimación dialógica de ideas (Scott et al. 2006).

5.2.1 Argumentación y modelización sobre fertilidad y no renovabilidad tomando como referencia la formación del suelo

Este sub-apartado se centra en el análisis del discurso que permita interpretar como las estrategias de argumentación desarrolladas en equipos de discusión oral, conducen a procesos de modelización que permitan comprender la fertilidad y la naturaleza no renovable del lento y complejo proceso de edafogénesis. Interesan estos procesos de modelización por ser básicos en la fundamentación de la necesidad de cuidar el suelo ante impactos como los derivados del cambio climático. Su desarrollo se consigue a través de conversaciones en las que los estudiantes asumieron roles como plantear preguntas en la creación de significado y cuando el profesor intervino, procuró no dar datos, sino hacer preguntas que obligaron a los estudiantes a explicitar sus ideas. Sólo cuando de estas ideas no surgían de los andamiajes diseñados para avanzar en esa modelización, proporcionaba la información que le demandaban. Los estudiantes muestran un importante compromiso en estas tareas de compartir sus pensamientos y compartir sus conocimientos en un contexto eficaz para el análisis de ideas. Los resultados revelan que las conversaciones se centraron, principalmente, en la discusión y aclaración de las ideas compartidas en las conversaciones sobre la formación y fertilidad del

suelo. Los estudiantes pasaron la mayor parte de su tiempo a lo largo de las conversaciones explicando sus ideas o tratando de aclararlas.

Las preguntas del profesor ayudaron a los estudiantes a articular mejor sus creencias y concepciones, sin ocupar nunca el papel protagonista que les correspondió siempre a los estudiantes. Este liderazgo que cedió fue asumido por el alumno Agustín, quien gestionó la mayor parte de las veces el acuerdo y el desacuerdo. Esto facilitó la argumentación tal y como se muestra en las valoraciones en argumentación y modelización que se presentan en la tabla 5.1 en modelos para fundamentar en la ciencia escolar la relevancia del cambio climático en el suelo conceptualizado en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Estos resultados positivos son concordantes en las valoraciones de las capacidades de argumentación y en las del proceso de modelización. Se centran en los modelos que permiten entender la influencia del clima en la formación del suelo, en las ventajas del estiércol frente al abonado inorgánico, así como las relaciones del tipo de suelo con las consecuencias de los fenómenos meteorológicos extremos de inundaciones y sequías. Las capacidades de argumentación se vieron favorecidas por el hecho de situar a los equipos de trabajo en problemas auténticos de "aprendizaje situado" (Lave y Wenger, 1991). Este espacio social, facilitador de conversaciones sobre las relaciones de los elementos curriculares de la ciencia escolar edafológica con los conocimientos que tienen de las actividades agrícolas de las aldeas donde viven, facilita la argumentación porque estimula a los estudiantes a adquirir significados de uso en las circunstancias inmediatas y los contextos culturales y sociales del entorno en el que tiene lugar la actividad de aprendizaje (Brown et al., 1989). Muchas veces, cuando no se lograron esas conexiones de aprendizaje situado, el diálogo no fue productivo al no contribuir a una mejora en la calidad y sofisticación de argumentos, y al desarrollo de nuevas ideas y comprensión disciplinaria (Engle y Conant, 2002).

Las estrategias de argumentación de este grupo de trabajo de cuatro miembros consiguen la calidad suficiente para generar procesos de modelización con un buen grado de desempeño en modelos edafológicos para fundamentar la necesidad de cuidar el suelo ante impactos como los derivados del cambio climático. Sólo se consiguen niveles bajos de desempeño en aquellos conceptos edafológicos que requieren conocimientos geológicos básicos de una profundidad relevante para este nivel de competencia curricular de 15 años como son la edad del suelo y el origen de los suelos. Detrás de estas dificultades destacan las interferencias en la formación del suelo de los procesos erosión y sedimentación, que para la formación autóctona del suelo no resulta pertinentes. En este modelo edafológico alternativo tiene importancia el paradigma geodinámico de la ciencia escolar del suelo como producto de la alteración de las rocas, porque se modeliza desde una vertiente exclusivamente mecánica, prescindiendo de la existencia de procesos químicos (geoquímicos y bioquímicos) y biológicos propios de la edafogénesis, lo que conduce a la incoherencia de la sustitución en la formación autóctona del suelo de la meteorización por la erosión mecánica (Yus y Rebollo, 1993). Los problemas en la modelización del tiempo de formación del suelo, que se evidencian en la baja valoración, tienen una barrera importante para la comprensión en la dificultad para modelizar el tiempo geológico en esos niveles de competencia curricular. Pero también se encontró la idea alternativa que asocia el suelo con las rocas, en lo que podría volver a tener incidencia la modelización exclusiva de la edafogénesis por procesos mecánicos, lo que supondría tener la representación mental de la formación del suelo por un simple proceso de alteración mecánica tal como señaló Happs (1981), y más recientemente Fernández et al. (2017). Queda así obviada la alteración química de los fragmentos de la roca

madre sobre los que, al asentarse los primeros organismos vivos, entre ellos líquenes, tiene lugar el inicio de la meteorización biológica (Fernández et al., 2017).

A pesar de las bajas valoraciones en la procedencia de los materiales aquí analizadas, las estrategias de argumentación, co-construcción de argumentos liderados y conducidos desde la interacción verbal de los estudiantes, evidencia evoluciones en el modelo alternativo haciéndolo avanzar hacia modelos más coherentes con los modelos científicos. Un ejemplo de esto se puede apreciar cuando Alfonso no parece satisfecho con un modelo de formación del suelo únicamente por erosión y parece presentar cierta evolución hacia la meteorización cuando expresa que *“donde no hay no se puede sacar”*. Esa expresión puede sostener la representación implícita de que las partículas permanecen in situ. Si fuera así habría un avance en el modelo mental inicial que se sitúa el origen del suelo por la erosión de la roca madre que implica el transporte inmediato de los materiales erosionados a otros lugares, donde finalmente se formaría el suelo.

Insatisfacciones como la que Alfonso manifiesta sobre el modelo simplista de la meteorización física como único proceso, son necesarios para conseguir los procesos de modelización que permitan comprender la fertilidad y la naturaleza no renovable del suelo. Esta comprensión es necesaria para interpretar la relevancia que tienen impactos como los derivados del cambio climático en este recurso. Con insatisfacciones de esta naturaleza los estudiantes pueden verse impulsados a movilizar conocimientos e integrarlos en sus modelos mentales para conseguir evoluciones de los modelos mentales alternativos. Esto se visualiza cuando Alfonso intenta situar la formación del suelo como un proceso geológico autóctono, recurriendo a otra transformación geológica en la que está implicada una roca de origen magmático, cuando dice que la roca antes fue magma que se transformó en esa roca, haciendo entrar en juego en este proceso de modelización de la formación del suelo el modelo de la ciencia escolar del ciclo de las rocas.

Se requiere de modelos discontinuos del suelo en el que sus partículas son susceptibles de participar en reacciones químicas, claves en su formación, evolución y sostenibilidad. Apoyándose en estos modelos se puede interpretar la relevancia de la formación del suelo en la sostenibilidad de este recurso no renovable, que determina su no renovabilidad, su estructura, textura y por tanto su fertilidad. Todo eso fundamenta la necesidad de cuidar el suelo ante impactos como los derivados del cambio climático. Sólo desde esa visión del recurso no renovable se puede entender la importancia del abonado y los problemas derivados del uso inadecuado del abonado inorgánico. A pesar de esta dificultad se consigue la valoración en la modelización en la media (5 puntos sobre 9). A esta valoración se le puede atribuir relaciones con la buena valoración en la estrategia de argumentación seguida (7 puntos sobre 9) que a su vez se puede relacionar con el hecho de que los estudiantes sean de una zona agrícola. Ese contexto de cognición situada explica la facilidad para argumentar sobre los efectos negativos de los abonos concentrados sobre las raíces, y conocimiento detallado de los diferentes tipos de abonos inorgánicos y sus usos concretos. La baja intensidad de intervención docente en la actividad de un equipo concreto, porque según las notas del observador, estaba atendiendo a dudas de todos los grupos, deja en el desconocimiento del docente la oportunidad de incorporar en la estrategia de argumentación andamiajes con los datos y evidencias del uso de abonados excesivos sobre la contaminación del agua. Esos andamiajes hubieran sido importantes porque los estudiantes no demuestran tener observaciones ni representaciones implícitas de los efectos de los abonos sobre la eutrofización de aguas continentales. Aunque en este argumento y modelo concretos parezca

que se obtendrían mejores resultados con las orientaciones de aprendizaje del profesor, el diseño ya tenía presente la imposibilidad de que el docente pudiese atender en simultáneo varias dudas, y esa limitación está presente siempre que el docente adopte este rol de asesoría, orientación y apoyo a diferentes equipos de trabajo. Por eso la secuencia de enseñanza y aprendizaje desarrollada en estos equipos de trabajo que argumentaron sobre ciencias del suelo fue diseñada mediante un andamiaje planificado para ser desarrollado, a través de una unidad didáctica. Este diseño se implementó bajo un enfoque comunicativo de baja intensidad en la participación del docente en el trabajo de los equipos, que en general en este caso se mostró eficaz como oportunidad de construir y evaluar argumentos, relacionar conclusiones con evidencias y construir explicaciones y contraargumentos (Kelly et al., 2001), minimizándose las tensiones entre lo dialógico y lo autoritario. Para conseguirlo resultó estratégica la libertad de la ausencia de la autoridad docente. Ese rol docente facilitó la construcción de argumentos en paralelo porque genera un contexto dialógico más libre (Yun y Kim, 2015).

La evolución de la modelización implicada en el abonado permitiría introducir la problemática del abonado inorgánico en la línea de lo conceptualizado sobre ciencias del cambio climático en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Este informe advierte de la pérdida de calidad del agua por el abonado excesivo. Sobre este impacto ambiental es importante que integren en sus representaciones mentales que la concentración de nitrógeno por el abonado excesivo en suelos arenosos y climas húmedos, en un escenario de aumento de la temperatura de esa agua por el cambio climático, puede dar lugar a procesos de eutrofización y a la proliferación de cianobacterias productoras de toxinas que afectan a la salud humana. Por eso los estudiantes de secundaria básica, desde su alfabetización científica, deben entender que el aumento de nitrógeno en el agua hasta niveles críticos pone en serio riesgo la calidad del agua, la estabilidad de los ecosistemas y la salud humana, bajo las condiciones de cambio climático que están cursando (UNEP-WMO, 2001).

5.2.2 Argumentación y modelización sobre los impactos de fenómenos extremos en la fertilidad del suelo

Los procesos de formación del suelo también son determinantes en su estructura y textura, que a su vez son claves para su fertilidad, y por ese motivo fundamentan la necesidad de cuidar el suelo ante impactos como los derivados del cambio climático. Entre los principales factores que afectan a la estructura y textura del suelo están los fenómenos extremos de sequías e inundaciones, cuyas frecuencias están aumentando en el contexto del cambio climático. Es importante que los estudiantes argumenten para modelizar que el suelo agrícola requiere en su estructura del orden del 60% de partículas finas de limos y arcillas. Interesa que entiendan que esos componentes, ante cambios alternos de temperaturas y precipitaciones extremas, favorecen la compactación excesiva y también la eliminación y degradación acelerada de la materia orgánica, favoreciendo así las emisiones de CO₂ a la atmósfera y otros impactos implicados en la desertificación. En esa transferencia del informe IPCC del 7 de agosto de 2019, interesa que argumenten para incorporar en este proceso de modelización las implicaciones que tiene sobre la desertificación la alternancia de periodos de lluvias intensas y torrenciales con otros de sequías intensas. Conviene tener presente en esta argumentación el riesgo del aumento de la frecuencia de la alternancia y de la intensidad de estos dos tipos de fenómenos meteorológicos extremos con el cambio climático.

Deben poder interpretar que el aumento de la intensidad de las precipitaciones en eventos meteorológicos extremos, contribuyen a mayores inundaciones en la superficie de cultivo. En ese sentido, interesa que interpreten que el predominio de partículas finas, en ese tipo de suelos, los hacen inundables. También se necesita que entiendan que luego, cuando llegan las temperaturas extremas, cuya frecuencia e intensidad también está en aumento con el cambio climático, se compactan en esos períodos de sequía, erosionando y desertizando los suelos fértiles. Los suelos agrícolas con esa estructura que fueron inundados, cuando llegan los periodos de temperaturas extremas, pasarán a compactarse y agrietarse, hasta el punto de que se dificulta la aireación e impiden el normal crecimiento de las raíces. Por todo ello interesa conseguir procesos de modelización que integren la participación del aumento de la frecuencia de los fenómenos extremos que se relaciona con el cambio con sus consecuencias en el aumento de la desertización, entiendo este fenómeno como la pérdida de la fertilidad y productividad del suelo (Martínez, 2010). Las pérdidas del suelo fértil y productivo ya superan el 40%, con las consiguientes implicaciones en la seguridad alimentaria y en la génesis de refugiados climáticos (IPCC, 2019). Por eso en el contexto actual de cambio climático, el cuidado del suelo fértil ante el cambio climático debe ocupar y preocupar al conjunto de la población mundial.

En base a todo lo expuesto resulta oportuno investigar sobre capacidades de argumentación y procesos de modelización que permitan conseguir una rápida y eficaz alfabetización científica a través de la transposición didáctica del informe IPCC del 7 de agosto de 2019 por la transcendencia que tiene para la vida de los ciudadanos del siglo XXI. Un reto así requiere de la competencia científica interdisciplinar necesaria para interpretar datos y pruebas (OECD, 2017) mediante el desarrollo de capacidades de argumentación que permitan alcanzar el grado de desempeño en la modelización necesario para comprender estas problemáticas ambientales. Esto se contextualiza en actividades que requieran decisiones grupales evaluadas y consensuadas entre iguales a través del debate, la negociación y el consenso para tomar decisiones que busquen respuesta a preguntas en forma de conclusiones justificadas en base a evidencias, datos y pruebas (Osborne, 2012). Todo ello orientado a conseguir la evolución de modelos mentales para que sean coherentes con el conocimiento básico científico de referencia que se requiere para entender, en este caso, la influencia de los eventos extremos en la fertilidad del suelo.

Llegar a los procesos de modelización que se requieren para interpretar las relaciones entre los eventos meteorológicos extremos y la fertilidad del suelo, implica tener representaciones mentales de la estructura microscópica de las partículas que forman el suelo. Eso es lo que va a permitir interpretar la relación de esta estructura con los sucesos macroscópicos perceptibles en inundaciones y sequías de terrenos de cultivo. Para que esos complejos procesos de modelización puedan desarrollarse en contextos de argumentación entre iguales, liderados por los estudiantes, se requiere de una búsqueda activa de información. Interesa esa búsqueda para apoyarse en esa información para construir ideas y tomar de decisiones sobre fenómenos que le son familiares (Oliva, 2019). En general el tipo de argumentos contruidos por los estudiantes depende de sus teorías personales sobre cuestiones científicas (Keys 1997) y parten de ellas para incorporar los nuevos conocimientos. Por eso se requiere que se les aporte información adicional (Acher, 2014) que en este caso se le suministró a través de portfolios de partes secuenciales de la unidad didáctica y de los retos de demanda cognitiva que ha introducido el docente cuando fue necesario. Sobre la base de contextos, ejemplos y analogías vinculados a los escenarios sobre los que tiene el lugar el aprendizaje, se recurrió al aprendizaje situado (Brown et al., 1989). Para este ámbito concreto,

en el portfolio se presentaron textos de la unidad didáctica acompañados con modelos infográficos que explican porque los suelos francos: 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla consiguen la estructura que demanda la fertilidad que combine una compactación que no sea excesiva. Eso va a ser lo que permita que se vea favorecida la circulación de agua con sales minerales disueltas y oxígeno, y que posibilite el arrastre y mineralización del humus.

La ontología de la modelización que permite explicar porque los suelos arenosos se secan en verano y filtran bien en invierno, mientras que a aquellos en los que predominan las partículas finas, que son los más fértiles (40% de limos y 20% de arcillas), le ocurre lo contrario, dio buenos resultados, en el sentido de que el proceso de modelización desarrollado con la argumentación permitió extraer un modelo de ciencia escolar para la transposición didáctica de los contenidos científicos del informe IPCC del 7 de agosto de 2019 (figura 4.2.12). Es importante el avance conseguido en el proceso de modelización porque se partió de un modelo mental inicial muy distante del modelo científico. En el modelo alternativo de partida visualizaban el suelo como una estructura continua sin espacios entre partículas que se agrieta en verano por dilatación. Este modelo incoherente es coherente para ellos porque estas observaciones forman parte de sus experiencias sensoriales y con esos modelos mentales iniciales alternativos los logran interpretar. Cuando las observan en la naturaleza, en los terrenos de cultivo de las aldeas en las que viven, los explican desde muy pequeños a través de representaciones implícitas macroscópicas de concepción continua de la estructura de la materia. El origen sensorial de estos modelos alternativos justifica sus resistentes al cambio conceptual, por la coherencia que le da poder explicar observaciones cotidianas en la naturaleza de estudiantes vinculados al medio rural, y pone el valor el proceso de modelización conseguido con la argumentación.

Se debe conseguir su evolución hacia el modelo estructural microscópico de discontinuidad por existencia de espacio entre partículas, que explique los cambios en la fertilidad del suelo de sus inundaciones y compactación en posteriores sequías. Para esa evolución se debe vencer la percepción de la materia como continua en todo el volumen excepto en las grietas. Las resistencias a la modificación de esta idea alternativa se perciben, en el modelo analógico, con las grietas en el cemento, que se forman cuando este se seca y se calienta. Esta interpretación macroscópica de las grietas, que es la observación que centra su atención y reflexión se explica de dos formas, por pérdidas de materia, justifica para ellos la pérdida de materia por la formación de la grieta. Lo explican expresando que cuando se calienta y seca el cemento se forman grietas y caen arenas y/o también por simples procesos de dilatación, sin nombrar las retracciones. Ambas interpretaciones macroscópicas, grietas por dilatación o por pérdida de materia (figura 4.2.10), conllevan la percepción continua de la materia y la pérdida de reversibilidad que les impide interpretar la desaparición de las grietas cuando se inundan de nuevo. Esta irreversibilidad puede ser una incoherencia muy aprovechable para generar los conflictos cognitivos que puedan impulsar la evolución de estos modelos mentales. Es probable que esta incoherencia estuviese presente cuando el grupo fue impulsando la evolución del modelo para su interpretación desde un modelo microscópico que tome en consideración del espacio entre las partículas. La consciencia de este tipo de incoherencias, por parte del grupo comprometido del pensamiento colectivo de la argumentación, es necesaria para que los modelos compartidos por el grupo puedan evolucionar. Si este modelo no evoluciona puede valerles para interpretar, con una percepción de coherencia, lo que observen en los terrenos de cultivo de los lugares donde viven. Pero el modelo macroscópico es una barrera para poder interpretar los efectos negativos de los fenómenos sobre la fertilidad de los suelos de cultivo, porque esas representaciones mentales

implícitas están a considerar que las partículas que forman la materia están totalmente unidas, sin admitir la opción de vacío (Pozo et al., 1999) necesario para que circule el agua con los nutrientes y el oxígeno.

La puesta en común de la argumentación de los diferentes grupos de trabajo que forman el grupo de clase posibilitó la aparición de un modelo microscópico, con el que razonan en términos de partículas, pero incoherente. En este caso la visualización de grietas en contextos calurosos y de sequía, parece conducir a la representación mental de que la dilatación de esas pequeñas partículas, expulsan del suelo otras partículas. Cuando vuelven a su tamaño inicial las partículas dilatadas queda el espacio que dejaron las partículas perdidas y eso explica el origen de las grietas. Por eso esta modelo microscópica también es incoherente (figura 4.2.11).

El modelo microscópico coherente lo consigue el propio grupo de trabajo objeto de estudio en el que tuvo un papel destacado el alumno Alonso. Consiste en considerar que el agua se introduce entre las partículas por lo que el suelo se encharca, quedando así retenido y produciendo dificultades para que siga filtrándose agua, lo que puede justificar el encharcamiento en momentos de precipitaciones extremas. Cuando esa agua se evapora deja grupos de partículas que hacen que estas estén más cerca una a otras que antes de agruparse por la evaporación, y eso genera espacios entre los nuevos agrupamientos de partículas que dan lugar a las grietas.

Partiendo de este modelo se pueden introducir andamiajes centrados en el modelo corpuscular necesario para interpretar las interacciones sólido-agua que lleve a la disolución de sales minerales para que estas queden a la disposición de las raíces. En ese andamiaje se debe tener presente las dificultades que tienen los estudiantes de secundaria básica para comprender las disoluciones (Blanco & Prieto, 1994). Por eso el abordaje de esta cuestión a estas edades necesita de adaptaciones y simplificaciones en lo relativo al papel aniones silicio $[\text{SiO}_4]^{4-}$ pertenecientes a los silicatos que se neutralizan en sus estructuras con hidróxidos de metales entre los que pueden estar el calcio, el magnesio o el hierro que son fundamentales para la nutrición de las plantas. Aunque este modelo que explica la fertilidad es difícil de asimilar, sí pueden interpretar con en ese modelo corpuscular que la neutralidad es lo que mantiene a los aniones silicio retenidos en esa estructura con microporos entre las partículas del suelo si asimilan que se disuelven en el agua partículas con carga y que las cargas de sentido contrario se neutralizan. En esa retención de las arcillas tiene un papel determinante los cationes metálicos, por lo que deben entender partículas cargadas que se atraen, pero que también pueden ser atraídas por el agua, y así llegan a las raíces cationes necesarios para la nutrición de las plantas como Mg^{2+} , Ca^{2+} o K^+ .

Para introducir en este modelo corpuscular la importancia que tienen las disoluciones de las sales minerales para la nutrición de los vegetales se diseñó la práctica de laboratorio sobre cuya realización y su observación se formularon las dos últimas preguntas cuya valoración de sus resultados de argumentación y argumentación se expresan en las dos últimas filas de la tabla 5.1. La práctica que se tenía diseñada es la que visualiza en página 12 del Anexo I, que consiste en hacer pasar una misma cantidad de agua, con idéntica concentración de sulfato de cobre a tres probetas, atravesando en cada una de ellas arena, arcilla y humus, situadas esas tres muestras sólidas, cada una en su embudo con un mismo volumen de materia sólida retenida por papel de filtro. Por la ausencia de sulfato de cobre en el laboratorio de química se desarrolló la variante del análisis del color de la mezcla filtrada en las tres muestras debido al

paso de agua del agua del grifo sin el sulfato. Se busca generar oportunidades de que puedan aproximar a su modelización corpuscular desarrollada en la argumentación de la respuesta a la cuestión anterior (figura 4.2.12) la atracción entre las moléculas de agua y de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) que están atraídos por los aniones silicato de las arcillas, y que el agua puede competir con esas atracciones iónicas provocando la disolución de los iones. En ese sentido interesa que observen que la arcilla sea la muestra que menos filtra a la probeta y que el filtrado sea una disolución homogénea en la que no se ven partículas macroscópicas, pero que tiene el color de la arcilla disuelta. En el extremo contrario tendrán en la arena. El humus estará próximo en filtrado a la arena, pero permitiría visualizar el arrastre de fragmentos sólidos del humus, algo que se produce en el suelo desde el horizonte A hacia el B.

Las capacidades de argumentación quedaron valoradas por encima de la media en la argumentación para responder a las dos preguntas sobre esta práctica, lo que es coherente que el potencial que tienen las prácticas de laboratorio para introducir justificaciones que relacionen datos empíricos con conclusiones. Pero la valoración de la modelización sólo está por encima de la media en la primera cuestión, cuando se responde razonando que la arena es la que filtra mejor. En la cuestión relativa a la comparación del color de la mezcla que se filtró a través de cada muestra con la capacidad de retención, la modelización quedó con valoración claramente inferior a la media. Esa baja valoración se debe a que los estudiantes se centraron únicamente en la materia sólida de las tres muestras de componentes del suelo y perdieron de vista los procesos de disolución que ocurre en la muestra durante la filtración. Se fijaron únicamente en el arrastre del humus, cuyos fragmentos son visibles en suspensión en la mezcla heterogénea que resultó de la filtración a través del humus, como si no existieran transformaciones por interacciones de disolución durante el proceso de filtración por la materia sólida del embudo, por lo que quedan obviados los procesos de disolución que le dan color a la disolución homogénea filtrada a través de la materia arcillosa.

Aunque el humus mediatiza las observaciones y conversaciones, no se logra contemplar su proceso de mineralización como una importante fuente de sales minerales que deben llegar a las raíces. Tampoco se relaciona la dependencia de su proceso de formación del clima, necesario para entender el riesgo de oxidación por aumento de la temperatura superficial y de su eliminación por la erosión derivada de los fenómenos extremos. La visualización de su arrastre por el agua puede aprovecharse para ayudar a entender su transición del horizonte A al B, dando lugar a la aparición de horizonte eluvial de transición entre el horizonte A hacia el B, con un color ceniciento y de horizonte B en el que se acumulan restos de humus arrastrado con sales minerales que resultan de este proceso de humificación y mineralización del humus. El análisis de la argumentación y desarrollada en esta investigación muestra la oportunidad que supone esta mezcla de agua y humus para avanzar en la modelización que demanda la transposición didáctica a la ciencia escolar de los contenidos científicos del informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

5.3 DISCUSIÓN SOBRE LAS CIENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO CON UN ENFOQUE TRANSVERSAL EN MODALIDADES DIFERENTES DE 1º DE BACHILLERATO

En este apartado se presentan una discusión comparativa de los resultados obtenidos en los coloquios para responder a cuestiones de la exposición sobre cambio climático (anexo II) en cuatro contextos diferentes relativos a los cuatro últimos objetivos (O2, O3, O4 y O5). Los dos primeros son los coloquios dirigidos por el docente a dos grupos clase de modalidades

diferentes. Se trata de las dos modalidades con mayor matrícula en la mayoría de los centros de secundaria, la científico-tecnológica (caso 3) y la de humanidades y ciencias sociales (caso 4). Los otros dos contextos que se comparan ocurren tres meses después usando únicamente lo retenido en el coloquio conducido por el docente. Cada uno de ellos se da con un grupo de seis voluntarios, uno del grupo de la modalidad científico – tecnológica (caso 5) y el otro de la modalidad de ciencias sociales (caso 6). En estos dos últimos casos los estudiantes vuelven a responder, tres meses después de la intervención del docente, a las mismas cuestiones en cuya respuesta participaron ya tres meses antes en el coloquio, formando parte de su grupo de clase. En estas respuestas usan únicamente lo que retienen en su estructura cognitiva de las capacidades de argumentación y de las representaciones mentales como resultado de la intervención del docente conduciendo el coloquio para buscar respuestas a las mismas preguntas tres meses antes, y participando de aquella la totalidad del grupo clase.

Con las comparativas entre los cuatro casos se responde a las preguntas de investigación principales segunda y tercera (PI2 y PI3):

- **2PI2:** *¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo clase la modalidad científico – tecnológica o en de humanidades y ciencias sociales?*
- **PI3:** *¿En qué medida se mantiene en la estructura cognitiva la validez de los argumentos y modelos construidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?*

5.3.1 Discusión comparativa sobre la intervención docente en los coloquios dirigidos a las dos modalidades

En este sub-epígrafe se comparan los resultados de los casos 3 y 4, apoyándose en las valoraciones de las argumentaciones y modelizaciones expresados en la tabla 5.2 para dar respuesta a la segunda pregunta general de investigación **PI2:** *¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo clase la modalidad científico–tecnológica o en de humanidades y ciencias sociales?* (comparación de los casos 3 y 4).

Tabla 5.2. Valoraciones de la argumentación y modelización, y patrón del flujo del discurso en las respuestas a las nueve cuestiones sobre cambio climático en el coloquio dirigido por el docente en el grupo de la modalidad científico-tecnológica (casos 3) y en la de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (caso 4).

Preguntas	Caso 3			Caso 4		
	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón
¿Es malo el CO ₂ para la vida?	6	–	Colabo.	7	6	Colabo.
¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?,	4	–	Colabo.	9	7	Consen.

Carmen, ¿tú qué opinas?						
¿Una selva es un sumidero de CO ₂ ?	7	6	Consen.	7	5	Consen.
¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?	7	5	Colabo.	6	6	Consen.
¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?	6	4	Recept.	6	5	Receptiva
¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?	6	4	Recept.	6	–	Receptiva
¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?	6	4	Colabo.	7	5	Colabo.
¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo N?	4	–	Colabo.	–	–	–
¿Cómo puede afectar el aumento de temperatura en Groenlandia en Galicia?	3	–	Colabo.	8	9	Consens.

A nivel general, la valoración de las estrategias de argumentación en los coloquios que fueron conducidos por el profesor en los dos grupos, para argumentar en la búsqueda y el desarrollo de procesos modelización a través de ellos, fue más satisfactoria en el grupo de humanidades y ciencias sociales que en el científico-tecnológico, tal y como se muestra en las valoraciones expresadas en la tabla 5.2.

Los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales parecen tener más representaciones de clima y de localizaciones geográficas. Desarrollan estrategias de argumentación más eficaces que las elaboradas por el grupo de la modalidad científico-tecnológica. En general también parecen tener una mayor capacidad para organizar el discurso de forma coherente y gramaticalmente correcto. Esta diferencia en el dominio de la climatología y de la descripción geográfica global tiene una fundamentación lógica en el currículo de materias propias de la modalidad. Se debe tener presente además el uso de representaciones sociales en el enseñanza y aprendizaje de ciencias sociales, y la expansión del uso que su naturaleza interdisciplinaria está facilitando (García-Vinuesa et al., 2022) y la expansión de su uso en el ámbito de las ciencias sociales. Esto puede permitir explicar que el modelo de efecto invernadero aparezca con este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales y se haya resistido en el grupo de la modalidad científico-tecnológica, o la

representación mental de los efectos sobre seres vivos y ecosistemas se expliciten mejor en la modalidad de ciencias sociales.

En relación a la comparación de las respuestas a la primera cuestión en los dos grupos de clase, se evidencia que el aumento del efecto invernadero por las emisiones de gases efecto invernadero de origen antropogénico queda representado con más profundidad en este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (caso 4), usándolo estos estudiantes de ciencias sociales en las estrategias de argumentación con más acierto y eficacia que en el caso del grupo de la modalidad científico-tecnológica (caso 3). Desde el punto de vista de la explicitación del modelo del efecto invernadero y su aumento por las emisiones de gases efecto invernadero de origen antropogénico, la respuesta a esta cuestión en este coloquio conducido por el profesor para el grupo clase de la especialidad de ciencias sociales tiene mayor acierto y eficacia que en el caso del grupo de la modalidad científico-tecnológica. En el grupo de humanidades y ciencias sociales se argumenta más en la línea de la retención de calor que en el grupo de la modalidad científico-tecnológica, en el que se hablaba únicamente de retención de luz del sol. En la retención de calor se usan dos modelos uno claramente alternativo, introducido por la alumna Sara, que se responsabiliza de esta retención a la capa de ozono que se considera erróneamente que está aumentando con las emisiones de gases efecto invernadero fue reorientada. Por eso terminó imponiéndose la argumentación de Sergio que va aproximando la retención de calor (radiación infrarroja) por los gases invernadero que les impiden salir con normalidad de la Tierra, que se enuncia ya desde una formulación de representación mental más próxima al nivel 4 de la categorización de modelos de Varela et al. (2020). Este modelo al que Sergio aproxima al grupo de humanidades y ciencias sociales no aparece en el grupo de la modalidad científico-tecnológica con ese rigor, claridad, profundidad y pertinencia. Con un modelo así se podría trasladar la urgencia de esas acciones por el clima analizando el paso la superación en este siglo de la barrera de concentraciones de dióxido de carbono de 0,03%, que todavía figura en libros de texto actuales, al actual que ya supera 0,04% (las 400 partes por millón). Por el contrario, en el grupo de la modalidad científico-tecnológica no utilizan el término efecto invernadero. En determinados momentos del discurso parecen expresar la representación implícita de que toda la radiación infrarroja que se retiene procede directamente del sol (Chang y Pascua, 2016), o incluso que lo que se retiene es radiación visible incidente, en la línea de lo señalado por Bodzin et al. (2014) en la que se le atribuía a la radiación visible que incide directamente y la del efecto albedo la capacidad calorífica propia de la radiación infrarroja. En todo caso no se ha mencionado nada que indique que contemplan la retención de calor emitida por la Tierra, en la línea de lo que apuntaron Shepardson et al. (2011).

En la comparación de las respuestas de los dos grupos de clase a la segunda cuestión, también hay una diferencia clara en la valoración a favor del grupo de humanidades y ciencias sociales en la representación mental implícita del valor del grado en cambio climático. En el grupo de la modalidad científico-tecnológica inicialmente sólo se le dio importancia porque iba sumando con el acúmulo de más aumento, y así podría acabar siendo importante. Por eso consideraron en el caso 3, a diferencia de lo que ocurrió en el caso 4, que 3° C no eran significativos. Se visualiza así que los estudiantes del grupo de la modalidad científico-tecnológica apliquen un modelo con la representación mental del grado en meteorología mientras que los de humanidades y ciencias sociales están aplicando el concepto desde representaciones mentales con el grado de evolución necesario para la interpretación del valor del grado en climatología. Detrás de estas representaciones mentales expresadas en el coloquio del grupo clase por los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica parecen

estar los sesgos geofísicos que impiden diferenciar los conceptos de clima y tiempo que encontró Heras (2013). El docente también tiene que hacer frente a las resistencias que muestra este grupo para entender los posibles efectos del cambio climático sobre la distribución de especies vegetales, con las dificultades para comprender efectos encadenados derivados de las relaciones ecosistemas, en la línea de lo encontrado por Shepardson et al. (2017). Esa dificultad para entender el valor de esa diferencia de 3° C de temperatura en términos globales en el grupo de la modalidad científico-tecnológica impulsa al profesor a buscar, en el proceso de modelización, transferencias bidireccionales entre lo contextual y el valor global de esa diferencia de temperatura. En ese recorrido de ida y vuelta entre las representaciones mentales de lo local y de lo global tuvo que recurrir a un ecosistema identificable en el paisaje de un río próximo al centro, para llegar a la repercusión de la sequía sobre la distribución de plantas que necesitan vivir en ambientes muy húmedos. Los estudiantes del grupo de humanidades y ciencias sociales logran cerrar antes la argumentación y expresan argumentos y modelos de mayor validez. Esa comprensión del valor del grado en climatología en el grupo de humanidades y ciencias se visualiza en la comparación de la temperatura media de Valencia con la de Galicia.

Este mayor desempeño de los estudiantes de la humanidades y ciencias sociales que tienen la meteorología y la climatología en los ámbitos de conocimiento de su especialización invitan a comentar aquí la oportunidad que puede haber para enseñar y aprender el cambio climático en introducir en la ciencia escolar básica del cambio climático el trabajo con series y climogramas que aplican los desarrollos curriculares de la geografía de la secundaria. Las nuevas formas de aprender y enseñar que demanda la ciencia escolar del cambio climático requieren que las modelizaciones del cambio climático en las clases de ciencias integren estrategias de argumentación sobre cambio climático que se usan en la modalidad de ciencias sociales. Interesa el diálogo entre ambos departamentos para fortalecer la modelización del valor del grado y de los efectos de la diferencia de un grado en términos de adaptación de las especies y de los posibles desequilibrios que se pueden producir en ecosistemas, agrosistemas y en los servicios ecosistemas que nos reportan y que sustentan la actividad económica.

En relación a la comparación de las respuestas a la tercera cuestión, también aparece mejor representado en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (caso 4) el equilibrio en bosques maduros tipo comunidad clímax en estos estudiantes de ciencias sociales. Al menos Sara expresa que en la selva el dióxido de carbono fijado es la misma cantidad que el liberado, y con eso justifica de forma satisfactoria el hecho de que una selva tropical madura no sea ni un sumidero ni una fuente de este gas. Los estudiantes de este grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales no utilizan la participación de los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición en ese equilibrio. Pero tampoco los usaron con suficiente rigor y coherencia los del grupo científico-tecnológico. En las representaciones sociales está presente el papel de los bosques como sumideros y la expresión de que las selvas son el “*pulmón del mundo*” forma parte de representaciones sociales presentes una amplia representación ciudadana. Como tales parecen estar presentes en estos dos coloquios en grupos de clase diferentes, porque no se llega a visualizar que expliciten el papel de la fotosíntesis en la fijación del carbono y de la respiración y descomposición en las emisiones. Estas dificultades parecen ir en la línea de las dificultades, para comprender verdaderamente los sistemas, encontradas por Sweeney y Stermann (2007). Por eso parece recomendable ubicar en la ciencia escolar básica estos dos procesos y relacionarlos con el potencial de ser sumidero en determinados ecosistemas, o agrosistemas como son los bosques juveniles y los bosques templados, pero sin poner en riesgo nunca la integridad de los bosques

maduros. Además, es importante entender que para pensar en sistemas sumideros debemos entender los ciclos, teniendo en cuenta todos los elementos del sistema, incluyendo los procesos de acumulación del carbono en el suelo y los procesos de mineralización. En general el grupo de ciencias sociales parecen entender mejor el funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono en los que participan la fotosíntesis como sumidero y de la respiración, descomposición y combustión como fuente, apuntando a que entienden que entienden la tendencia al balance cero a medida que la sucesión avanza hacia la comunidad clímax. Aunque en ninguno de los casos se expresa el papel del suelo en este balance, y eso invita a comentar aquí la reflexión del interés por incorporarlo en la ciencia escolar de las relaciones del cambio climático con la fertilidad del suelo. Se desconoce si en los enfoques de economía propias de esta modalidad se aborda el papel del árbol como fijador de carbono en tiempos de resiliencia largos. Pero en todo caso interesa pulir posibles interferencias de la aplicación de este modelo del árbol joven como sumidero para que los estudiantes no se queden con la aplicación expresada en esta clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de que puede interesar cortar árboles viejos y plantar otros jóvenes, si no se hace en términos correctos de gestión forestal.

En relación a la comparación de las respuestas a la cuarta cuestión en las dos clases, las valoraciones en ambos grupos son parecidas, y vinculan esa subida del nivel del mar al deshielo y no a la dilatación térmica. Llama la atención la diferente implicación del docente en las estrategias de argumentación que conduce en los dos grupos. Esta es bastante más baja en las estrategias de argumentación que se demandan para la modelización en el grupo de humanidades y ciencias que en el grupo de la especialidad científico-tecnológica. En ambos grupos se detecta que es necesario revisar modelos mentales implicados en la interpretación de la subida del nivel del mar para hacerlos evolucionar hacia la integración de las dos causas de la subida del mar debido al cambio climático: el deshielo del hielo continental y la dilatación térmica. Del análisis de la argumentación de las respuestas en ambos grupos se concluye que identifican en el deshielo con la única causa de la subida del nivel del mar. En ningún momento se observa en ninguno de los grupos la consideración de la expansión térmica como un agente responsable del aumento del nivel del mar, tal y como ya ha sido evidenciada por diferentes autores (McGinnis et al., 2017; Rebich y Gautier, 2005; Sheparson et al., 2011; Sheparson et al., 2017).

En relación a la comparación de la respuesta a la quinta cuestión las valoraciones salen claramente superiores en el grupo científico-tecnológico. Se aprecia en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales una debilidad importante de representaciones mentales sobre los procesos de producción de dióxido de carbono en la combustión de combustibles fósiles, por cuanto que el proceso de argumentación llega a la conclusión de que se libera por un cambio de estado hacia la evaporación. Por eso es importante articular modelizaciones que permita llevar este modelo relacionado con el cambio químico en las reacciones de combustión. Interesa hacerlo para que puedan evolucionar estos modelos mentales basados en el cambio físico, más intuitivo y próximo, por el ciclo del agua, hacia el cambio químico ubicado en el ciclo del carbono que necesita la enseñanza y aprendizaje del cambio climático. Parece que los estudiantes del grupo de humanidades y ciencias sociales relacionan las emisiones con la evaporación en el ciclo del agua, al que recurrirían los estudiantes por carecer de ideas específicas sobre la combustión y su papel en el ciclo del carbono. Eso motivaría, en este caso que hayan recurrido a activar la analogía con la evaporación del agua, porque les puede resultar útil para explicar que se emitan gases cuando se usan el carbón y el petróleo. Recurrirían así a aspectos perceptivos, relacionados con otros

contextos en los que hacen interpretaciones válidas, para realizar la interpretación de las emisiones mediante analogías con la evaporación del agua, por desconocimiento del conocimiento científico, en la línea de lo establecido por Pozo et al. (1991).

En lo relativo a la comparación de las respuestas en ambos grupos a la sexta cuestión, las valoraciones también resultan mejores en el grupo de la modalidad científico – tecnológica. Los estudiantes del grupo de humanidades y ciencias sociales no llegan a tomar en consideración los procesos de formación del carbón y petróleo por procesos de fosilización que abarcan tiempos geológicos, modelos que si tienen cierta presencia en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. Por eso interesa considerar estas modelizaciones de interés en la ciencia escolar básica de la enseñanza secundaria y buscar conexiones transversales con estos aspectos de la Geología en las materias de la modalidad de ciencias sociales que requieran del estudio del cambio climático.

En relación a la comparación de las respuestas en los dos grupos clase a la séptima cuestión en las dos clases, la argumentación y modelización de los efectos del cambio climático sobre los bosques tiene una valoración superior en el coloquio del grupo de humanidades y ciencias sociales. Los estudiantes de esta modalidad de ciencias sociales se hacen conscientes con más rapidez y claridad de que el cambio climático supone un riesgo de incendios para los bosques debido al aumento de la temperatura. Esta idea no apareció así de espontánea y explícita en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. Lo mismo ocurrió con los efectos de las sequías sobre los bosques, y a nivel implícito, Sergio parece tener representaciones mentales que permiten introducir los efectos de las riadas sobre los bosques quemados, que el docente no exploró con la agilidad y la profundidad necesarias. Es posible que este mayor desempeño en la modelización de los impactos del cambio climático sobre los bosques en los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales tenga detrás la importancia económica de los recursos forestales en Galicia.

No se compara la octava cuestión, porque el profesor no la formuló en el grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En la comparación de argumentación de las respuestas a la novena cuestión sobre cómo puede influir la subida de temperatura del deshielo en Groenlandia en Galicia, se observa una clara superioridad en la validez de argumentos y modelos en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, sobre todo en el proceso de modelización. La intervención de Sergio sobre los efectos del deshielo de Groenlandia implicando a las corrientes marinas demuestra la viabilidad de la cinta transportadora para su uso como modelo de ciencia escolar. Este estudiante aproxima a la ciencia escolar estos modelos transversales que integran la geografía con oceanografía y climatología. Se trata de una interesante aportación en transferencias bidireccionales entre lo local y lo global en las nuevas formas de aprender y enseñar que demanda el cambio climático. Se visualiza así con claridad la evolución de la idea alternativa inicial de que el deshielo del hielo flotante de los icebergs contribuye a la subida del nivel del mar (McGinnis et al., 2017).

Este análisis comparativo de los resultados conseguidos por las estrategias de argumentación conducidos por el docente en las dos modalidades diferentes puede ayudar a conseguir una alfabetización científica sobre cambio climático que facilite que el reto llegue a todos los individuos que forman parte de la sociedad. El análisis comparativo permite vislumbrar que en general el profesor adopta ciertas diferencias significativas en la conducción del coloquio en los dos grupos de las dos modalidades. En estas diferencias

destacan que cuando la argumentación requería de respaldos científicos como puede ser los procesos metabólicos de la fotosíntesis, de la respiración, de las sucesiones ecológicas o la flotabilidad del hielo, se implicó más con estos modelos en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. Cuando se requiere de esos modelos, el profesor formula menos retos para impulsar el explicitar ese conocimiento básico en el grupo de humanidades y ciencias sociales que en el científico - tecnológico. En ambos el profesor formula preguntas, genera conexiones que permita que a argumentación incorpore ejemplos, símiles y analogías. Esto lo hace con más frecuencia e intensidad en el grupo de la modalidad científico-tecnológica que en el de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Las diferencias se pueden interpretar desde la posibilidad de que el docente entienda que estos conocimientos básicos no van a ser tan accesibles para estudiantes de la modalidad de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

Pero analizando a fondo las estrategias de argumentación, se observa que los estudiantes del grupo de humanidades y ciencias sociales son bastante más certeros a la hora de justificar datos con conclusiones buscando los conceptos del conocimiento básico precisos. Eso lleva a que los argumentos queden cerrados con rapidez, logrando argumentos completos, claros y pertinentes. Esa mayor rapidez y eficacia en la construcción de los argumentos también puede justificarse en buena manera la menor intervención docente.

De la comparación de la intervención de un mismo docente en el desarrollo de estrategias de argumentación para la modelización sobre cambio climático, se extrae la conclusión de que es importante el diálogo entre los departamentos de ciencias naturales y ciencias sociales. Interesa esa colaboración para fortalecer las modelizaciones como la del valor del grado centígrado en términos de temperaturas medias globales o aquellas necesarias para abordar la mitigación y adaptación al cambio climático, con especial énfasis en la gestión sostenible que nos reportan beneficios y que sustentan la actividad económica. En esa línea interesa buscar modelizaciones transversales entre ambas modalidades que sean bidireccionales entre lo local y lo global.

5.3.2 Retención en el tiempo de la argumentación y la modelización en estudiantes de la modalidad científico – tecnológica

En este sub-epígrafe se comparan los resultados de los casos 3 y 5, apoyándose en las valoraciones de las argumentaciones y modelizaciones expresados en la tabla 5.3 para dar respuesta a la pregunta de investigación general **PI3**: *¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?*

Esta respuesta general requiere, por el carácter comparativo, de una sub-pregunta de comparación de casos (SPCC1) que se formula con carácter comparativo para comparar, en la búsqueda de la respuesta a la SPCC1, los casos 3 y 5, apoyándose para ello en los datos de referencia recogidos en la tabla 5.3:

- **SPCC1**): *¿Qué se retiene y qué cambia en los argumentos y modelos que se desarrollan en el equipo de seis estudiantes en comparación con los desarrollados tres meses antes en el coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase*

de la modalidad científico-tecnológica de 1º de Bachillerato? (comparación de casos 3 y 5).

Tabla 5.3. Valoraciones de la argumentación y modelización y patrón del flujo del discurso en las respuestas a las nueve cuestiones sobre cambio climático en el coloquio dirigido por el docente en el grupo de la modalidad científico - tecnológica (casos 3) y en el equipo de seis estudiantes de este grupo que repiten las respuestas tres meses después sin la intervención del docente (caso 5).

Preguntas	Caso 3			Caso 5		
	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón
¿Es malo el CO ₂ para la vida?	6	—	Colabo.	6	—	Consens.
¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?, Carmen, ¿tú qué opinas?	4	—	Colabo.	5	—	Colabo.
¿Una selva es un sumidero de CO ₂ ?	7	6	Consens.	6	—	Consens.
¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?	7	5	Colabo.	7	6	Receptiva
¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?	6	4	Recept.	6	6	Colabo.
¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?	6	4	Recept.	7	6	Colabo.
¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?	6	4	Colabo.	8	7	Receptiva
¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo N?	4	—	Colabo.	5	—	Colabo.
¿Cómo puede afectar el aumento de temperatura en Groenlandia en Galicia?	3	—	Colabo.	6	7	Colabo.

Las valoraciones, en general son superiores en el discurso del equipo de trabajo de seis miembros (caso 5) que en el del coloquio del grupo clase conducido por el docente (caso 3). Solo en la argumentación de la respuesta a la tercera cuestión se obtiene en el caso 5 valores claramente menores a los de caso 3. En general los resultados son bastante parejos, pero ligeramente superiores tres meses después, actuando ahora los estudiantes sólo con lo retenido en su estructura cognitiva, aunque son netamente superiores en la argumentación sobre los efectos del cambio climático en los bosques y en las consecuencias del aumento de la temperatura en Groenlandia sobre Galicia. Esta mejora de los resultados obtenidos en la

argumentación colectiva construida en grupo pequeño sin la intervención del docente, usando para responder a las cuestiones, sin poder recurrir los estudiantes a ningún material, para tener que usar únicamente su retentiva de las estrategias de argumentación y de los procesos de modelización desarrolladas tres meses antes, invitan a pensar en el acierto del docente tres meses antes guiando las estrategias de argumentación, buscando la implicación reflexiva de los estudiantes en procesos de modelización, para poder responder que seguridad a las cuestiones. Por tanto, en el equipo de trabajo autónomo se buscó responder a las mismas preguntas tres meses después del coloquio conducido por el docente, usando ahora únicamente la retentiva cognitiva. Sus respuestas parecen indicar que los estudiantes se han apropiado, manteniendo en la estructura cognitiva en los tres meses que pasaron, de conocimientos sobre patrones para articular las estrategias de argumentación y de los modelos mentales para dar respuestas eficaces a estas cuestiones sin repasos ni uso de material. Se comprueban así los múltiples beneficios y bondades que Monereo et al. (2001) atribuye a la enseñanza cooperativa y colaborativa para promover estrategias de aprendizaje debido tanto a los propios escenarios cooperativos de co-construcción de argumentos como a la propia naturaleza de las estrategias de argumentación usadas.

Al no participar el docente, los estudiantes que asumen la conducción, siguiendo el rol docente en las estrategias de argumentación, son Carlos y Carolina, alternándose ambos. En general la argumentación se cierra antes, pero se llega a las mismas, o incluso mejores argumentaciones, usando justificaciones semejantes, a las que se llegan antes. En esa mayor brevedad de la argumentación para llegar a respuestas bien argumentadas es muy probable que esté influyendo los conocimientos sobre estrategias de argumentación y procesos de modelización inducidas por la argumentación conducida por el docente tres meses antes. Esta hipótesis se ve reforzada por el hecho de que la mejoría en las valoraciones ocurra en las cuestiones en cuya respuesta el docente logró mayor procesamiento profundo en la argumentación.

En relación a la comparación sobre la argumentación para responder a la primera cuestión, esta obtiene prácticamente las mismas valoraciones que en el coloquio conducido por el docente tres meses antes. Es un buen ejemplo de la mayor rapidez y eficacia con la que se cierra la argumentación. Carlos, al tiempo que expresa la importancia del CO₂ para la vida por su capacidad de regular la temperatura, también añade que su exceso provoca un aumento de la temperatura global que afecta al clima.

Sobre la respuesta de la segunda cuestión, la modelización no es resulta exitosa, y Consuelo inicia la argumentación enunciando una conclusión directa, incoherente, mostrando que no tiene asimilado el valor del grado en climatología, pues ejemplifica la diferencia en base a la diferencia de la temperatura del día y la noche. Al centrarse en las diferencias de temperatura de 3° C entre el día y la noche, no están analizando esta diferencia en términos promedios globales. Este error conceptual posiblemente se deba a la necesidad de recurrir a analizar ese valor en términos de nuestras vivencias cotidianas y diarias de mucho contraste en la sensación térmica. Esa representación de la idea alternativa desde una confluencia de la vía sensorial con el uso de un significado diferente con más representación socio cultural, como es el grado en meteorología, puede justificar esa resistencia al cambio, a pesar de la intervención del docente tres meses antes.

En la argumentación sobre las consecuencias de esa diferencia de temperatura sobre los seres vivos, tres meses después, siguen centrándose únicamente en cambios en la distribución

de animales migratorios, a pesar de los andamiajes incorporados por el docente tres meses antes para incorporar los efectos sobre vegetales y ecosistemas, apoyándose en un humedal próximo al centro. A la vista de esta resistencia, posiblemente debió seguir profundizando a través de esa línea de argumentación para llevar la argumentación a representaciones más profundas sobre las implicaciones de esos efectos en la vegetación sobre la dinámica de poblaciones y del ecosistema. De aquella el docente dejó los procesos de codificación del funcionamiento de los ecosistemas en un procesamiento demasiado superficial para las necesidades de pensamiento complejo (Morin, 1990) y por tanto de procesamiento profundo (Monereo et al., 2001) que requiere la enseñanza y aprendizaje de la ecología. Este análisis invita a concluir que, en estas situaciones de efectos encadenados y multifactoriales, como los derivados del cambio climático, es importante que el docente oriente sus andamiajes para el estímulo de la argumentación colaborativa, dando los tiempos de aceptación que demanda el procesamiento profundo que se necesita. Sólo con andamiajes de esta naturaleza se puede modelizar un sistema compuesto por una serie de elementos interdependientes que interaccionan entre si generando bucles de retroalimentación con la dinámica de los ecosistemas (Shepardson et al., 2017).

De la comparación de lo encontrado ahora con el resultado sobre la argumentación en la respuesta a la misma cuestión en el caso 3, se extrae la importancia de que el docente, cuando interviene en coloquios y puestas en común, deje avanzar la argumentación. Por eso es importante que dé los tiempos de aceptación y los andamiajes necesarios que requiere el procesamiento profundo que se necesita. Se deben aprovechar esas intervenciones del docente para buscar modelizaciones mediante procesamientos profundos que, una vez adquirido el valor del grado en términos globales, permitan que se conecten efectos en cascada de este aumento sobre otros factores climatológicos, y de estos con la dinámica de los ecosistemas, empezando por los productores.

En la comparación de las respuestas a la tercera cuestión se aprecia una ligera mejoría en el proceso de modelización en el equipo de trabajo, pero sin embargo sigue sin visualizarse la extracción de un proceso de modelización válido para la ciencia escolar. La argumentación sobre esta cuestión quedó limitada prácticamente a la intervención de Carolina. Esta alumna demostró aquí tener asimilada la argumentación obtenida en el coloquio bajo la dirección del docente, quien se esforzó de aquella en sacar el discurso del procesamiento superficial con el que se abordó. Esta alumna, tres meses después de enfrentar la respuesta a la misma cuestión, ahora expresa que las selvas, si son juveniles, son sumideros. Pero en ningún momento expresa el concepto de comunidad clímax en los términos de árboles adultos que fijan tanto dióxido de carbono por la fotosíntesis como el que emiten por la respiración y descomposición. En el coloquio de tres meses antes, Celestino, que no está en este equipo de seis miembros, aportó la idea que la planta “*come*”, que el docente dio por válido como representación implícita de la fijación del dióxido de carbono a través del proceso de la fotosíntesis. Es posible que esa aceptación impidiera el paso al procesamiento profundo que se requería en esa modelización y que consistía en incorporar a la modelización la fotosíntesis como proceso fijador del dióxido de carbono.

Es posible que a nivel implícito esté asimilado que, si los árboles están en su práctica totalidad en proceso de crecimiento, fijan más dióxido de carbono por el proceso de la fotosíntesis que el emitido por la respiración y descomposición. Pero en ningún momento del discurso sale a relucir el respaldo de que el efecto de sumidero de un bosque depende de que los procesos de fotosíntesis predominen sobre los de respiración y descomposición, que es el

conocimiento básico que respalda la conclusión a la que llegan de que las selvas son sumideros si son juveniles. Por tanto, a nivel explícito no se identifica un proceso de modelización con claras evidencias de tener utilidad para la ciencia escolar. Por eso podrían seguir estando presente tres meses después las mismas barreras discutidas en el caso 3 para la verdadera comprensión del funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono (Sweeney y Sterman, 2007).

Sobre comparación de la argumentación de la subida del mar, formulada a través de la cuarta cuestión, en el estudio del caso 3 parecía que el docente estaba buscando la contribución de la dilatación térmica por la extensión que le dio a la argumentación. Pero en ninguno de los dos casos que aquí se comparan se mencionaron la dilatación del agua del mar como consecuencia del aumento de su temperatura. Los estudiantes sin la intervención del profesor han resultado ser muy ágiles reconstruyendo los elementos claves de la argumentación. Este grado de competencia posiblemente resulte del procesamiento profundo (Monereo et al., 2001) que logró el profesor tres meses para relacionar el deshielo con el cambio climático. De aquella, generando conflictos cognitivos, sobre todo en la comparación del deshielo de Ártico y del Antártico, aplicando el modelo de hielo que apoya en el fondo del recipiente o que flota, parece que dejó elementos claves en la estructura cognitiva de los estudiantes que ahora pueden justificar esta rápida y eficaz modelización. En el quinto estudio de caso el equipo de seis estudiantes muestra mayor precisión al enunciar con claridad que el deshielo de los polos que contribuye a la subida del mar es el del hielo que está sobre la superficie continental en la Antártida y en Groenlandia, descartando así que influya en la subida del mar el hielo flotante sobre el Polo Norte. Eso invita a pensar que este modelo de ciencia escolar, a nivel de contribución del deshielo, queda retenido como modelo mental en la memoria a largo plazo de estos estudiantes. El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológico parece que han conseguido la evolución de la idea alternativa de que el deshielo del hielo flotante de los icebergs contribuye a la subida del nivel del mar (McGinnis et al., 2017).

Sobre la argumentación para responder a la quinta cuestión, sobre cómo influye el uso del carbón y del petróleo en el aumento de temperatura, al equipo de discusión de seis miembros les resulta más fácil y rápido llegar a la conclusión que hace tres meses a su grupo clase en el coloquio. Esto parece evidenciar la eficacia de los procesos de argumentación en la respuesta a esta cuestión conducida por el docente tres meses antes. Sin embargo, a diferencia del abordaje de esta cuestión en el coloquio conducido por el profesor tres meses antes, ahora no surge el respaldo del efecto invernadero.

Al igual que en la respuesta que dieron tres meses antes, formando parte de aquella discusión del grupo clase, el equipo de seis miembros tampoco hace referencia explícita a la retención del dióxido de carbono de la radiación calorífica o infrarroja emitida por la superficie terrestre que absorbe toda la luz incidente y emite únicamente radiación calorífica. La persistencia de esta limitación en la modelización se puede interpretar desde la ausencia de la imposibilidad con la que se encontró el docente para abordar en profundidad el tipo de radiación retenida.

En relación a la comparación de la respuesta de la sexta cuestión, que exigía argumentar sobre la naturaleza de recursos no renovables del carbón y del petróleo, cabe destacar que no se desprenden diferencias significativas en relación a la argumentación sobre la respuesta a esta misma cuestión en el coloquio conducido por el profesor. A diferencia de lo ocurrió hace

tres meses, este equipo de seis estudiantes no hace referencia a la intervención de “*fosas*” (pareciendo querer referirse a cuencas sedimentarias) y de bacterias, que en la argumentación conducido por el profesor quedaron vinculadas a un modelo implícito de fosilización mediante los correspondientes procesos y tiempos de formación que son claves para interpretar su no renovabilidad. Sin embargo, aquí aparecen referencias claras a las velocidades de formación y de consumo que el profesor tuvo que esforzarse para conseguir meses atrás, buscando referencias mediante retos dirigidos a que los estudiantes se implicaran el procesamiento profundo necesario. Por eso este avance puede ser una evidencia de que aquella argumentación generó modelizaciones con la profundidad necesaria para operar en la memoria a largo plazo. De ser así el docente habría conseguido impulsar capacidades de argumentación capaces de asociar la no renovabilidad en que la velocidad de consumo es mucho más elevada que la de formación.

Con respecto a las estrategias de argumentación que sigue el equipo de seis miembros para responder a la séptima cuestión, relativa a los efectos del cambio climático sobre los bosques, aquí aparecen aspectos que parecen reflejar resultados del esfuerzo del profesor tres meses antes. Sorprende que el equipo de seis estudiantes, después de tres meses, relacione todos los elementos claves del discurso que logró armar el profesor, lo que podría resultar ser un indicativo de la eficacia del procesamiento profundo que buscó de aquella. Ahora el equipo de trabajo introduce aspectos como los efectos de la sequía sobre especies vegetales, se sitúan las plagas en los insectos, se mencionan ejemplificadas con coherencia riesgos de extensión latitudinal de plagas, el aumento de riesgos de incendios y se anuncia de forma clara y precisa los riesgos de desertificación que cita el informe IPCC del 7 de agosto de 2019.

En relación con la cuestión octava, sobre las consecuencias del deshielo durante el verano en el polo Norte, la argumentación de la respuesta del equipo de seis estudiantes muestra los avances que ha dejado el aprendizaje generado tres meses antes con las aportaciones del profesor. De aquella los estudiantes estaban bloqueados por ausencia de conocimientos sobre el polo el Norte. El profesor recurrió a los documentales y a los datos y recuerdos sobre la vida de osos polares y focas. Ahora los estudiantes abordan la argumentación con más generalidad, pues ya no recurren a los ejemplos del oso polar o la foca que salió en la clase anterior, sino que ya se refieren en términos genéricos a animales. En este sentido, parecen existir avances en la dirección del procesamiento profundo que querían conseguir el profesor y su colega que actuó como observador.

Sobre la comparativa de la argumentación para desarrollar la respuesta a la cuestión novena que busca relacionar el deshielo de Groenlandia con consecuencias en la costa gallega, tampoco se observaron las dificultades a las que enfrentó el profesor tres meses antes para traer a lo local lo global y para conectar el agua oceánica de Groenlandia con Galicia. Los estudiantes tres meses antes no relacionaban la subida del nivel mar en Galicia con deshielos de hielo continental distantes, como puede ser este, o todavía más distantes como los de la Antártida. Las estrategias de argumentación conducidas por el docente tres meses antes, requirieron de andamiajes que incluso lo obligó a formular una nueva cuestión (pregunta décima exclusiva del caso 3) más local, para saltar esa dificultad de conectar lo general con lo local. Buscó que relacionaran las posibles corrientes marinas entre Groenlandia a Galicia con diferencias de temperatura y salinidad entre masas de aguas. También se esforzó en que modelizaran el efecto de la subida del nivel por el deshielo continental. Tres meses después este equipo de seis estudiantes que participaron tres meses antes en el coloquio,

utilizan este conocimiento básico como respaldo con rapidez, naturalidad y eficacia. Carmen, siguiendo la línea de razonamiento de las corrientes, concluye que esas corrientes que cambian pueden afectar a Galicia cambiando su clima, con lo que encuentra una relación lógica que permitiría relacionar el impacto del deshielo en Groenlandia y las costas gallegas. También aparece reflejados los efectos de la subida del nivel del mar ejemplificados en una población costera como es Vilagarcía, algo que no apareció tres meses antes y que forzó al profesor a incorporar una décima pregunta diseñada sobre la marcha como facilitadora del proceso de andamiaje necesario. Tres meses después la incoherencia que permanece es la expresada por Charo en los términos de que el aumento de temperatura en el polo traería a Galicia especies que viven allí, por cuanto que el desplazamiento de las pesquerías por calentamiento del océano se produce hacia latitudes superiores, no hacia las latitudes inferiores que indica Charo, al expresar que migrarían desde el Polo Norte, bajando de latitud hasta llegar a Galicia. Aunque los avances en modelización son muy destacados, la llegada de peces a Galicia de aguas del Polo Norte no es coherente y las pesquerías nuevas que están apareciendo en Galicia son de especies de latitudes inferiores, no superiores.

Pero las capacidades de argumentación y de modelización, desarrolladas con la dirección del coloquio por el docente tres meses antes, ahora sin la intervención del docente son más sólidas y con un mayor grado de modelización. El esfuerzo del docente tres meses antes parece que dio sus frutos. Las dificultades a las que se enfrentó el docente en su dirección de la argumentación para responder a esta cuestión fueron tan importantes que lo llevaron a improvisar la cuestión número diez.

Parece que la argumentación que consiguió orientar el docente en el discurso generado en el coloquio con la totalidad de la clase dejó elementos de aprendizaje que aparecieron aquí con eficacia desde las estructuras cognitivas de este equipo de trabajo compuesto por seis estudiantes. El procesamiento profundo que se tuvo que generar con la argumentación para responder a esta cuestión y a la décima que improvisó el docente, por las barreras que se encontró en las respuestas a la novena, posiblemente generó en los estudiantes la curiosidad e interés por buscar respuestas a estas preguntas. Al menos eso parece desprenderse que ahora hablen de las inundaciones de Vilagarcía, por su vinculación con la cuestión décima improvisada por el docente.

5.3.3 Retención en el tiempo de la argumentación y la modelización en estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales

En este sub-epígrafe se comparan los resultados de los casos 4 y 6, apoyándose en las valoraciones de referencia de las argumentaciones y modelizaciones expresados en la tabla 5.4 para dar respuesta a la pregunta de investigación principal **PI3**: *¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?*

Esta respuesta general requiere, por el carácter comparativo, de una sub-pregunta de comparación de casos (SPCC2) que se formula con carácter comparativo para comparar, en la búsqueda de la respuesta a la SPCC2, los casos 4 y 6, apoyándose para ello en los datos de referencia recogidos en la tabla 5.4:

- **SPCC2:** ¿Qué se retiene y qué cambia en los argumentos y modelos desarrollados por el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en comparación con los desarrollados tres meses antes en el coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de 1º de Bachillerato? (comparación de los estudios de caso 4 y 6).

Tabla 5.4. Valoraciones de la argumentación y modelización y patrón del flujo del discurso en las respuestas a las nueve cuestiones sobre cambio climático en el coloquio dirigido por el docente en el grupo de la modalidad científico - tecnológica (casos 4) y en el equipo de seis estudiantes de este grupo que repiten las respuestas tres meses después sin la intervención del docente (caso 6).

Preguntas	Caso 4			Caso 6		
	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón
¿Es malo el CO2 para la vida?	7	6	Colabo.	6	4	Colab.
¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?, Carmen, ¿tú qué opinas?	9	7	Consen.	7	6	Colab.
¿Una selva es un sumidero de CO2?	7	5	Consen.	5	4	Colab.
¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?	6	6	Consen.	7	7	Colab.
¿Por qué el uso del carbón y del petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?	6	5	Recepti- va	3	3	Colab.
¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?	6	–	Recepti- va	4	–	Colab.
¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?	7	5	Colab.	3	–	Colab.
¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo N?	–	–	–	–	–	–
¿Cómo puede afectar el aumento de temperatura en Groenlandia en Galicia?	8	9	Consen.	–	–	–

En este análisis comparativo sólo se puede hacer sobre las respuestas a las siete primeras cuestiones, porque en el equipo de seis estudiantes no dispusieron más que de 60 minutos de los 80 programados, puesto al ser final del curso se adelantó el transporte escolar.

A nivel general, a diferencia de lo que se encontró en el análisis homólogo en la otra modalidad, el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (caso 6) obtuvo menores valoraciones en la argumentación y modelización que su grupo clase en el coloquio dirigido por el profesor tres meses antes (caso 4). Sólo se obtienen valoraciones ligeramente superiores sobre las causas de que esté subiendo el nivel del mar.

En la comparación de las respuestas a la primera cuestión, aunque en el equipo de seis estudiantes Sandra cita el efecto invernadero asociado al efecto de regulador térmico del dióxido de carbono, no se hacen aportaciones relevantes en la modelización más allá que Santiago se refiere a las fuentes de emisiones antrópicas. Tanto las conclusiones como el respaldo no quedaron demasiado desarrolladas, y el discurso se centró en el enunciado de conclusiones sin demasiada fundamentación. Por ese motivo, el equipo muestra menos capacidades de argumentación y de modelización que en coloquio de su grupo clase celebrado tres meses antes. Aunque la retentiva se muestra débil, lo aprendido tres meses antes puede justificar que ahora no aparezcan ideas alternativas como la que apareció en el coloquio grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales cuando se expresó que las emisiones de dióxido de carbono aumentan la capa de ozono.

Comparando las argumentaciones y modelizaciones de las respuestas a la segunda cuestión, aparece por primera vez los efectos de la diferencia de 3° C sobre vegetales. En la argumentación de este equipo de trabajo se expresan consecuencias evolutivas derivadas de ese aumento, al referirse que aquí ese aumento de temperatura tendría como consecuencia la *“creación de otras especies”*. Vuelven de nuevo las consecuencias en cambios de distribución de especies migratorias como es el caso de la distribución con la llegada de peces a Galicia desde aguas de latitudes inferiores, o la permanencia de aves migratorias que se desplazaban a otros lugares más propicios para la reproducción. Sin llegar a un nivel de representación tan profundo como en la modelización manifestado por el grupo clase en el coloquio de tres meses antes, sigue habiendo un buen nivel desempeño en esta argumentación, y se evidencia que consideran que ese aumento de temperatura tiene consecuencias para los seres vivos.

En la comparación de lo argumentado y modelizado en la tercera cuestión se detecta que el equipo de debate de humanidades y ciencias sociales no usa respaldos científicos relativos a la fotosíntesis, a la respiración y a la descomposición. Tampoco aparece el concepto de selva como comunidad clímax en el que la fijación del dióxido de carbono por la fotosíntesis tiende a compensarse con las emisiones por respiración y descomposición. Pero si se emite una conclusión que contiene la representación mental implícita de que los bosques juveniles son sumideros de dióxido de carbono. Esa representación es la que usa Sebastián para concluir que puede ser interesante talar los árboles viejos para plantar otros más jóvenes, sin contemplar la importancia de ecosistemas como las selvas como reservorio de biodiversidad, ni la pérdida que supone la tala en ecosistemas maduros como los bosques templados y las selvas tropicales. Estas diferencias son las que justifica que este equipo consiga valoraciones

inferiores en las estrategias de argumentación y modelización que las obtenidas en el coloquio de su grupo clase.

En la comparación de las estrategias de argumentación y modelización de la respuesta a la cuarta cuestión, relativa a la subida del nivel mar, el paso de tres meses y el no poder recurrir a nada más que los aprendizajes retenidos del coloquio desarrollado tres meses antes bajo la dirección del profesor, no afectan al nivel mostrado en las capacidades de argumentación y el desarrollo de la modelización. La valoración es incluso superior en la respuesta del equipo de trabajo de seis miembros, siendo la respuesta a esta cuestión la única que deja valoraciones superiores a las conseguidas en el coloquio del grupo clase. La respuesta del equipo de seis miembros de la modalidad de humanidades y ciencias sociales generan un discurso cuyo evento contiene un modelo de subida del nivel del mar por deshielo con un buen grado de coincidencia con el modelo científico y un buen desarrollo ontológico. Esta valoración superior se justifica en que en este equipo de seis miembros se utilizan analogías y se hacen una acertada aplicación de los efectos sobre la línea de costa y el urbanismo que pone en riesgo infraestructuras. Pero siguen sin contemplar la dilatación térmica como factor que también contribuye a esa subida del nivel del mar.

En la comparación de las respuestas a la quinta cuestión el equipo de trabajo obtiene valoraciones inferiores en su nivel de desempeño en estrategias de argumentación y procesos de modelización que su grupo clase tres meses antes, cuando de aquella intervino el docente. Se empieza con la intervención de Sandra que se descentra sobre la argumentación a seguir, al introducir el papel de los incendios en el aumento de los incendios. Tuvo que aparecer el liderazgo de Santiago, reproduciendo el rol del docente, para hacer ver al equipo que se estaban descentrando de la argumentación. Relacionan el aumento de dióxido de carbono por el aumento del uso de combustibles fósiles debido al incremento de los coches y de las industrias, integrando así las emisiones difusas del tráfico con las industriales, y por tanto superando el sesgo industrialista (Heras, 2013). Pero no lograron introducir en la argumentación el conocimiento básico relativo al aumento del efecto invernadero que provoca este gas, un modelo bien desarrollado en el coloquio de su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales (cuarto caso). También aparece una idea alternativa en la conclusión enunciada por Santiago, con la que se cierra la argumentación del evento. Este estudiante atribuye al dióxido de carbono la disminución de la capa de ozono.

En la comparación de las argumentaciones contenidas en la respuesta a la sexta cuestión por parte de este equipo de trabajo de seis estudiantes de humanidades y ciencias sociales con la que dieron tres meses antes en su grupo clase, se observan menos rigor de en el desempeño de este equipo de trabajo de seis estudiantes. En el discurso de estos seis estudiantes el conocimiento básico relativo a la formación del carbón y del petróleo no aparece y el discurso discurre hacia el ámbito de la implicación socioeconómico, lo que también se puede explicar desde las implicaciones que tiene su modalidad en relación en el estudio de estas cuestiones. Pero en el discurso que participaron del coloquio de su grupo clase tres meses antes se explicitó la retención de calor por los gases invernadero y las estrategias de argumentación exploraron alternativas más próximas al modelo científico. Por eso, aunque hace tres meses su grupo clase no alcanzó un proceso de modelización claramente identificable, si se desarrolló con un mayor desempeño en las estrategias de argumentación.



En la comparación de las respuestas relativas a la séptima cuestión, el grupo da por válido un enunciado de Sheila, que no logra plasmarse en un esquema de Toulmin, lo que justifica

la baja puntuación en relación con la que obtuvo su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales tres meses antes. Lo que lograron asimilar y retener los seis miembros del equipo de la interesante argumentación y modelización que desarrolló el grupo clase, no ha resultado significativo para la construcción de una argumentación y de una modelización pertinente por parte de este equipo de seis miembros.

5.3.4 Comparación de la influencia de la modalidad en la retención de las estrategias de argumentación y modelización

En este sub-epígrafe se comparan los resultados de los casos 5 y 6, apoyándose en las valoraciones de referencia de las argumentaciones y modelizaciones expresados en la tabla 5.5 para dar respuesta a la pregunta de investigación principal **PI3**: *¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos construidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?*

Esta respuesta general requiere, por el carácter comparativo, de una sub-pregunta de comparación de casos (SPCC3, con apoyos en las respuestas SPCC1 y SPCC2 y en menor medida en las de PI2) que se formula con carácter comparativo para comparar, en la búsqueda de la respuesta a la SPCC3, los casos 5 y 6, apoyándose para ello en los datos de referencia recogidos en la tabla 5.5, y también en las respuestas conseguidas en las respuestas a SPCC1 y SPCC2, y en menor medida en las conseguidas en las de PI2:

- **SPCC3**: *¿Cómo influye la modalidad en la validez de los argumentos y de los modelos retenidos en la estructura cognitiva de los seis estudiantes de cada una de las modalidades que responden 3 meses después del coloquio conducido por el profesor y dirigido a su grupo clase?* (comparación de los estudios de caso 5 y 6)

Tabla 5.5. Valoraciones de la argumentación y modelización y patrón del flujo del discurso en las respuestas a las nueve cuestiones sobre cambio climático en el equipo de trabajo tres meses después del coloquio dirigido por el docente (casos 5 y 6).

Preguntas	Caso 5			Caso 6		
	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón	Argumento (sobre 9)	Modelo (sobre 8)	Patrón
¿Es malo el CO ₂ para la vida?	6	—	Consens.	6	4	Colab.
¿Una diferencia de 3 grados en la temperatura media tiene importancia para la vida?, Carmen, ¿tú qué opinas?	5	—	Colabo.	7	6	Colab.
¿Una selva es un sumidero de CO ₂ ?	6	—	Consens.	5	4	Colab.
¿Cuáles son las causas de que esté subiendo el nivel del mar?	7	6	Receptiva	7	7	Colab.
¿Por qué el uso del carbón y del	6	6	Colabo.	3	3	Colab.

petróleo está relacionado con el aumento de la temperatura?						
¿Por qué se dice que el carbón y el petróleo son recursos no renovables?	7	6	Colabo.	4	–	Colab.
¿Qué efectos tiene el cambio climático sobre los bosques?	8	7	Receptiva	3	–	Colab.
¿Cuáles son las consecuencias del deshielo durante los veranos del Polo N?	5	–	Colabo.	–	–	–
¿Cómo puede afectar el aumento de temperatura en Groenlandia en Galicia?	6	7	Colabo.	–	–	–

En la comparación de las valoraciones relativas a las respuestas a la primera cuestión en la argumentación salen resultados parejos, pero en la modelización hay una diferencia clara a favor del equipo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En el equipo de humanidades y ciencias sociales se llega a explicitar el efecto invernadero asociado al efecto de regulador térmico del dióxido de carbono, y se presentan, como origen, las emisiones industriales y difusas, consiguiendo la superación del sesgo industrialista (Heras, 2013). Pero el proceso de modelización seguido con las estrategias de argumentación en este equipo del sexto estudio de caso presenta una importante incoherencia cuando se expresa que las emisiones de dióxido de carbono aumentan la capa de ozono. Por ese motivo, aunque en este equipo se reconoce y valora el proceso de modelización no apreciable con claridad en el quinto estudio de caso, el valor que se le otorga a lo modelizado por los seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales es bajo.

Sobre la comparación de las respuestas dadas a la segunda cuestión, la valoración es claramente mejor en el equipo de trabajo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En el equipo de trabajo de la modalidad científico - tecnológica no tienen asimilado el valor del grado en climatología, pues ejemplifica la diferencia en base a la diferencia de la temperatura del día y la noche, situando esa diferencia en la representación de la meteorología que es familiar para nuestras vivencias cotidianas y diarias, centrándose en las 24 horas de una rotación terrestre que nos deja diferencias en sensaciones térmicas capaces de afectar a nuestro bienestar, determinando así cambios en la vestimenta diaria. Tampoco aparecen los posibles efectos de esta subida de temperatura global sobre vegetales que si aparece en el equipo de trabajo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En ambos estudios de caso aparecen los efectos en términos de migraciones de animales, quedando estas mejor ejemplificadas en el grupo de humanidades y ciencias sociales

En la comparación de lo argumentado y modelizado en las respuestas dadas a la tercera cuestión, los resultados en argumentación están muy próximos, con un punto de diferencia a favor del grupo de la modalidad científico-tecnológica. Pero en lo que respecta al proceso de modelización hay avances a tener en cuenta en el grupo de humanidades y ciencias sociales, por lo que en este si se ha valorado el proceso que no se ha valorado en el otro equipo. En

ninguno de los casos se usan respaldos científicos relativos a la fotosíntesis, a la respiración y a la descomposición, ni aparece la representación de la de selva como comunidad clímax en el que la fijación del dióxido de carbono por la fotosíntesis tiende a compensarse con las emisiones por respiración y descomposición. En el discurso de la respuesta el equipo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales aparece una incoherencia ecológica cuando Sebastián aplica esa representación para expresar que podría interesar talar árboles viejos y plantar otros nuevos. A pesar de que esta idea precisa de un proceso de revisión es indicativa que existen avances en la modelización.

En la comparación sobre la argumentación y modelización contenidas en las respuestas relativas a la cuarta cuestión se encuentran resultados parejos y con un buen nivel de desempeño en ambos casos, estando ausente en los dos la contribución de la dilatación térmica, como ocurrió también en los otros dos casos de este estudio. Posiblemente aquí esté influyendo el grado de profundidad que logró el docente en el procesamiento de la modelización y la intuición que significa el proceso de deshielo para interpretar una subida de nivel del mar. La mayor rapidez y simplicidad que en el coloquio, parece indicar que ahora están repercutiendo los aprendizajes adquiridos tres meses antes. El profesor usó muchos elementos singulares en su modelización, especialmente en el grupo de la modalidad científico-tecnológica, en el que se encontró con más resistencias tres meses antes. De aquella recurrió a analogías como los cubitos de hielo en un vaso, que si apoyan desborda y si flota no varía el nivel. En el grupo de ciencias tienen claro, o al menos expresan que el deshielo que hace subir el nivel del mar es el hielo que está sobre Groenlandia y sobre la Antártida. También en el equipo de seis miembros de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se consiguen resultados igualmente satisfactorios, y en este caso, al igual que en el equipo de la otra modalidad, mejores que en las valoraciones de la argumentación y modelización desarrolladas en el coloquio con el profesor dirigiéndose a todo el grupo clase. Los dos equipos de trabajo de seis estudiantes logran generar un discurso cuyo evento que contiene un modelo de subida del nivel del mar por deshielo con un buen grado de coincidencia del modelo científico y un buen desarrollo ontológico.

En la comparación sobre la argumentación y modelización contenidas en la respuesta a la quinta cuestión, en los dos equipos de trabajo de seis estudiantes, se visualiza una clara valoración mejor en el equipo de la modalidad científico-tecnológica que en el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En ese sentido parece que este equipo sacó más beneficio a la intervención del docente tres meses antes, porque lograron llegar con agilidad a una conclusión acertada desde el punto de vista científico que en el coloquio de su grupo clase. Dan datos y construyen justificaciones que constituyen una argumentación coherente, pero como ocurrió en su grupo clase seis meses antes, se siguen olvidando de las emisiones difusas y sólo cita las emisiones industriales, manifestándose el sesgo industrialista (Heras, 2013). Aunque no logran la modelización profunda del efecto invernadero, si concluyen bien con los efectos de las emisiones y expresan sus fuentes de emisiones industriales e indirectas de la automoción. Sin embargo, en el equipo de trabajo del grupo de humanidades y ciencias sociales acaban la argumentación atribuyendo al dióxido la idea alternativa de que provoca la disminución de la capa de ozono. Por eso las estrategias de argumentación y el proceso de modelización son más eficaces en el equipo de la modalidad científico-tecnológica, que mejora lo recibido en el coloquio, mientras que el de humanidades y ciencias sociales desaprovechan las oportunidades de conocimiento que supuso el coloquio dirigido por el profesor tres meses antes. En el grupo de la modalidad científico-tecnológica se encuentran valoraciones claramente mejores. Este equipo muestra una eficacia que va a

consonancia con los esfuerzos del profesor, que, como se ya comentó, ha sido más extensa e intensa en el grupo de la modalidad científico – tecnológica.

En la comparación relativa a la sexta cuestión de nuevo vuelven a aparecer resultados claramente mejores en la argumentación y modelización de los seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica. Estos seis estudiantes reflejan aprovechar el esfuerzo del profesor en la argumentación del discurso relativo a la contestación a la misma cuestión en coloquio con su grupo clase. Parece así que el docente logró conseguir el procesamiento profundo que buscó de aquella porque los estudiantes incorporan los efectos de la sequía sobre la sequía sobre especies vegetales, riesgos de extensión latitudinal de plagas, el aumento de riesgos de incendios y se anuncia de forma clara y precisa los riesgos de desertificación. Por el contrario, el equipo de trabajo de seis estudiantes de humanidades y ciencias sociales da por válido un enunciado de Sheila que no logra a plasmarse en un esquema de Toulmin lo que justifica la baja puntuación en relación a la que obtuvo su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales tres meses antes. La estrategia de argumentación que se sigue en el equipo de seis estudiantes de humanidades y ciencias sociales para responder a esta cuestión no cristaliza en un argumento debidamente constituido según el patrón básico establecido por Toulmin (1958).

A nivel general, se encontraron resultados parejos en aquellas cuestiones que tienen conocimientos básicos coincidentes en materias de la misma especialidad y claramente diferentes a favor de la modalidad de científico – tecnológica en las demás. Por eso se aprecia una mejor gestión de los modelos mentales que se configuraron tres meses antes en el grupo de la modalidad científico – tecnológica.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

6.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo comienza extrayendo las conclusiones generales de esta investigación, para pasar a continuación a presentar las principales implicaciones educativas. A continuación, se apuntan algunas consideraciones finales relacionadas con las limitaciones del estudio y algunos de los aspectos que podrían mejorarse. Por último, sobre estas consideraciones finales se sugieren futuras líneas de investigación en base a los hallazgos de esta investigación.

Los cinco objetivos de investigación se orientan hacia la meta de buscar modelos escolares válidos para la introducción las ciencias del suelo y las ciencias del cambio climático en la enseñanza secundaria. Con ellos se aspira a lograr establecer pautas para los modelos escolares, que se necesita que construyan los estudiantes, para asimilar y comprometerse con el reto que significa, para la seguridad alimentaria mundial, el impacto del cambio climático sobre la fertilidad del suelo que se expresa en el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Esta meta se persigue a través de cinco objetivos generales de investigación (de O1 a O5), que han conducido a las treinta y dos conclusiones (de C1 a C32), a través de las respuestas a tres preguntas investigación de carácter principales (PI1, PI2 y PI3). La respuesta de investigación principal 3 (PI3) requiere de hacer tres comparaciones diferentes, incluyendo en cada comparación dos casos. Por eso para su respuesta se necesita de tres sub-preguntas de comparación de casos (SPCC1, SPCC2 y SPCC3). La respuesta a la primera sub-pregunta (SPCC1) requiere de la comparación de los casos 3 y 5. La respuesta a la segunda sub-pregunta (SPCC2) requiere de la comparación de los casos 4 y 6. La respuesta a la tercera sub-pregunta (SPCC3) requiere de la comparación de los casos 5 y 6.

6.1.1. Relación de las conclusiones con la primera pregunta de investigación (PI1) y objetivo O1

Para enunciar las conclusiones extraídas de los resultados que dan respuesta a la primera pregunta de investigación principal (PI1) se siguió la orientación del primer objetivo de investigación (O1), que se expresa a continuación junto con el enunciado de la primera pregunta de investigación principal:

- **Objetivo 1 (O1):** Analizar el proceso de argumentación y modelización, y la validez de los argumentos y modelos, así como las interacciones que se producen durante unas sesiones de clase sobre ciencias del suelo, en las que estudiantes de secundaria básica, en pequeño grupo y en gran grupo, dan respuesta a preguntas relativas a la edad, origen, factores de formación, fertilidad y comportamiento del suelo, y donde el papel del docente es dirigir la actividad del conjunto de equipos de trabajo.

A partir de las respuestas a la primera pregunta de investigación (PI1), mediante las orientaciones del primer objetivo de investigación (O1), se enuncian las nueve primeras conclusiones (de C1 a C9):

PI1 ¿Cómo interaccionan y desarrollan las capacidades de argumentación y modelización estudiantes de secundaria básica en el uso de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo diseñada para que los grupos pequeños sólo necesiten del docente en orientaciones puntuales en la búsqueda de información?

6.1.2. Relación de las conclusiones con la segunda pregunta de investigación (PI2) y objetivos O2 y O3

Para enunciar las conclusiones (de C9 a C17) extraídas de las respuestas a la segunda pregunta de investigación principal (PI2) se siguieron las orientaciones de los objetivos de investigación segundo y tercero (O2 y O3) apoyándose en la comparación de casos. A continuación, se expresan los dos objetivos (O2 y O3) y la segunda pregunta de investigación principal (PI2):

- **Objetivo 2 (O2):** Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen estudiantes de bachillerato de dos grupos clase, uno de la modalidad científico-tecnológica y otro de la de humanidades y ciencias sociales, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio dirigido por el docente.
- **Objetivo 3 (O3):** Comparar las diferencias en los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan y construyen, después de la visualización de una exposición sobre cambio climático en un coloquio dirigido por el docente, los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

PI2: ¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo de clase de la modalidad científico – tecnológica y en el grupo de clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales?

6.1.3. Relación de las conclusiones con la tercera pregunta de investigación (PI3) y objetivos O4 y O5

Para enunciar las conclusiones (de C18 a C32) extraídas de las respuestas a la tercera pregunta de investigación principal (PI3) se siguieron las orientaciones de los objetivos de investigación cuarto y quinto (O4 y O5) a partir de la comparación de los casos 3 y 5 (SPCC1), de los casos 4 y 6 (SPCC2) y de los casos 5 y 6 (SPCC3, con el apoyo de las respuestas a SPCC1 y SPCC2 y en menor medida de las de PI2). A continuación, se expresan los dos objetivos (O4 y O5) y la tercera pregunta de investigación principal (PI3):

- **Objetivo 4 (O4):** Analizar los procesos de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan estudiantes de bachillerato argumentando en dos grupos pequeños, uno de cada grupo clase de cada una de las dos modalidades,

tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, en un coloquio sin la participación del docente

- **Objetivo 5 (O5):** Comparar las diferencias en el proceso de argumentación y modelización y la validez de los argumentos y modelos que utilizan, tres meses después de la visualización de una exposición sobre cambio climático, los dos grupos pequeños de estudiantes de la modalidad científico-tecnológica y de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, en un coloquio sin la participación del docente.

PI3: ¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos construidos tres meses antes cuando un equipo de seis estudiantes de cada modalidad responde a las mismas cuestiones tres meses después?

Las respuestas a la tercera pregunta de investigación principal (PI3) conducen a las quince últimas conclusiones (de C18 a C32) que a su vez se relacionan con los últimos objetivos de investigación (O4 y O5). El enfoque comparativo tridimensional de grupos de dos casos requiere de la formulación de tres sub-preguntas de comparación de casos. Las respuestas a la sub-pregunta de comparación de casos 1 (SPCC1), a partir de la comparación de los casos 3 y 5, permite alcanzar desde la conclusión 18 a la 24 (de C18 a C24). Las respuestas a la sub-pregunta de comparación de casos 2 (SPCC2), a partir de la comparación de casos 4 y 6, permite alcanzarla conclusión de la 25 a la 27 (de C25 a C27). Las respuestas a la sub-pregunta de comparación de casos 3 (SPCC3), a partir de la comparación de los casos 5 y 6, apoyándose también en la comparación de las respuestas obtenidas con SPCC1 y SPCC2 y en menor medida las respuestas de PI2, permiten alcanzar las conclusiones de la 28 a la 32 (de C28 a C32).

- **SPCC1):** ¿Qué se retiene y qué cambia tres meses después en los argumentos y modelos desarrollados en el coloquio conducido por el docente y dirigido a estudiantes de la modalidad científico-tecnológica de 1º de Bachillerato? (comparación de casos 3 y 5).
- **SPCC2:** ¿Qué se retiene y qué cambia tres meses después en los argumentos y modelos desarrollados por los seis miembros del equipo de trabajo en comparación con los desarrollados en el coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de 1º de Bachillerato? (comparación de los estudios de caso 4 y 6).
- **SPCC3:** ¿Cómo influye la modalidad en la validez de los argumentos y de los modelos construidos por los equipos de seis estudiantes que responden 3 meses después del coloquio conducido por el docente? (comparación de los estudios de caso 5 y 6, apoyándose también en la comparación de SPCC1 y SPCC2).

6.2 CONCLUSIONES

Los resultados presentados e interpretados en los seis estudios de caso del capítulo 4 permiten establecer las conclusiones a partir de las respuestas a las tres preguntas de investigación principales (PI1, PI2 y PI3), siguiendo para ello los cinco objetivos de investigación (O1, O2, O3, O4, O5).

6.2.1 Conclusiones obtenidas de los resultados que dan respuesta a la PI1

Las conclusiones expresadas en este sub-apartado se obtuvieron del análisis de resultados que dan respuesta a la primera pregunta de investigación PI1: *¿Cómo interactúan y desarrollan las capacidades de argumentación y modelización estudiantes de secundaria básica en el uso de una unidad didáctica sobre ciencias del suelo diseñada para que los grupos pequeños sólo necesiten del docente en orientaciones puntuales en la búsqueda de información?* Para responder a esta cuestión se seguirá la orientación del primer objetivo de investigación (O1).

Estas conclusiones están enunciadas en dos grandes dimensiones, las que se refieren a los tipos de interacciones que facilitan la argumentación y la modelización y las que se refieren más específicamente a modelos.

6.2.1.1 Conclusiones con mayor peso en los procesos de interacción.

Conclusión 1 (C1): Las interacciones en la co-construcción de argumentos evidencian que los participantes logran apoyarse en interacciones vinculadas a la articulación de ideas orientadas a un proceso de construcción de significados. Esta co-construcción de argumentos a través de las interacciones modifican los roles tradicionales situando al docente como orientador, alentando a los estudiantes a razonar y discutir a favor de la construcción de argumentos.

Los roles adoptados por los estudiantes y el profesor en las interacciones, con las que se busca el desarrollo de las capacidades de argumentación y de modelización en grupos pequeños, aportando el docente orientaciones puntuales en la búsqueda de información, fueron diferentes de los de una clase tradicional, y las tareas tuvieron éxito en alentar a los estudiantes a razonar y discutir.

Conclusión 2 (C2): El discurso dialógico sin el control permanente del profesor involucra a los estudiantes a trabajar juntos para desarrollar sus explicaciones comparando y negociando puntos de vista diferentes. El acuerdo y desacuerdo en el punto de vista constituye una constante interanimación dialógica de ideas. En esa interacción surgen avances en los modelos compartidos.

El hecho de que la discusión no haya estado bajo el control del profesor permitió a los estudiantes expresar sus ideas con mayor libertad, revisándolas para enfrentar mejor los desafíos y co-construir argumentos.

Conclusión 3 (C3): Los estudiantes son capaces de construir argumentos y modelos sobre ciencias del suelo, siguiendo andamiajes planificados en una unidad didáctica, quedando el rol docente limitado a reforzar, matizar o poner en cuestión ideas y atender

dudas que surgen en los diferentes equipos de trabajo mediante preguntas, ejemplos y analogías, sin aportar de forma directa información.

Los estudiantes únicamente pidieron la presencia del docente cuando no lograban avanzar con sus interpretaciones del andamiaje de la parte de la unidad didáctica contenida en el dossier sobre lo que estaban trabajando. El profesor formuló preguntas, propuso ejemplos vinculados al material que tenían, y reforzó la interpretación del andamiaje contenido en esos documentos con símiles. Procuró no ejercer el liderazgo en la búsqueda de las respuestas a las preguntas, para que este fuera asumido por los estudiantes, lo que solía ejercer el alumno Agustín, quien gestionó la mayor parte de las veces el acuerdo y el desacuerdo. La argumentación colectiva así desarrollada les permitió entender la influencia del clima en la formación del suelo, en las ventajas del abonado orgánico, así como las relaciones del tipo de suelo con las consecuencias de fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones y sequías.

Conclusión 4 (C4): Los estudiantes se involucran en la tarea y en las interacciones alumno-alumno en las que cada estudiante trata de entender el pensamiento del otro y de aportar conocimiento de lo que ha entendido y sobre lo que ha expresado otro, y sobre lo que ve útil para la mejor comprensión del grupo.

Los estudiantes hicieron aportaciones al tema en discusión, aunque a veces estas no ayudaron en la construcción de un argumento más sofisticado, porque en ocasiones el diálogo no fue productivo al no contribuir a una mejora en la calidad y sofisticación de argumentos, y al desarrollo de nuevas ideas y comprensión disciplinaria (Engle y Conant, 2002).

Conclusión 5 (C5): Los estudiantes cuando discuten sobre ciencias del suelo, sin la presencia de la autoridad intelectual del profesor, el entorno de mayor libertad facilita aportaciones de todos al discurso, pero las contribuciones sustantivas que suscitan el acuerdo suelen venir de uno de los estudiantes.

La ausencia de la autoridad docente facilita la construcción de argumentos en paralelo, porque genera un contexto dialógico más libre (Yun y Kim., 2015). Las discusiones grupales tienden a estar dominadas por los estudiantes más líderes que son los que hacen más contribuciones durante el proceso de construcción de argumentos, y a su vez estas son las mejor aceptadas por el grupo. En este grupo ese liderazgo lo ejerció Agustín, quien desafió continuamente a sus colegas para explicitaran bien sus ideas, apoyándose en varias ocasiones en las buenas ideas de su compañero Alonso. Pero Agustín siempre procuró mantener ese liderazgo en el control de la construcción del discurso. En todo caso, el ambiente de aprendizaje generado en estos pequeños equipos de trabajo fue propicio para razonar y discutir activamente, mostrándose este tipo de liderazgos como catalizadores con menos frenos en las aportaciones que intervenciones equivalentes de un docente.

6.2.1.2 Conclusiones con mayor peso en argumentos y modelos.

Conclusión 6 (C6): En algunos casos los estudiantes activan ideas y modelos alternativos que generan resistencias al proceso de modelización, mediante la argumentación en pequeño grupo. Los estudiantes llegan a completar argumentaciones con modelos, que en muchos casos son incoherentes para la ciencia escolar, como el modelo alternativo que co–construyen sobre el origen autóctono del suelo, según el cual

parecen entender que el suelo se forma por la descomposición de las rocas de las montañas, transportándose ese material hasta el lugar en el que se formó el suelo.

En algunos casos los estudiantes activaron ideas y modelos alternativos que generaron resistencias a los procesos de modelización. En esas dificultades tuvo una importante relevancia el modelo edafológico alternativo del paradigma geodinámico de la ciencia escolar *“el suelo como producto de la alteración de las rocas”* (Yus y Rebollo, 1993), porque se modeliza desde una vertiente exclusivamente mecánica, prescindiendo de la existencia de procesos químicos (geoquímicos y bioquímicos) y biológicos propios de la edafogénesis, quedando sustituida la representación de la meteorización por la erosión mecánica (Happs, 1982; Fernández et al. 2017).

Conclusión 7 (C7): Los estudiantes establecen conexiones entre el contenido de la tarea y sus conocimientos cotidianos, en los temas relativos a la fertilidad del suelo y los cultivos, como fue el caso sobre el uso de fertilizantes.

Hay que tener en cuenta que estos estudiantes proceden de un entorno rural, por lo que tienen un amplio conocimiento sobre los cultivos y los diferentes tipos de fertilizantes y cómo usarlos. Situar a equipos de trabajo en problemas auténticos de "aprendizaje situado" (Lave y Wenger, 1991), en la que la ciencia escolar pasa a ser un espacio social que estimule conversaciones centradas en los elementos curriculares de la ciencia escolar, que son facilitadoras de la argumentación, porque estimula a los estudiantes a adquirir significados de uso en las circunstancias inmediatas y los contextos culturales y sociales del entorno en el que tiene lugar la actividad de aprendizaje (Brown et al., 1989). La discusión se enriqueció con el conocimiento de los estudiantes, obtenidos de su vida en un entorno rural.

Conclusión 8 (C8): El enfoque comunicativo que se desarrolló durante la implementación de las tareas de la secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre ciencias del suelo se mostró eficaz para dar oportunidades para construir y evaluar argumentos, relacionar conclusiones con evidencias y construir explicaciones y contraargumentos.

El rol docente quedó centrado en atender las dudas que surgían de los ocho equipos de trabajo. En el equipo objeto de estudio, no tuvo un diferente trato de atenciones y tiempos de dedicación del docente, que los otros ocho. Este discurso dialógico entre estudiantes se producen cambios en los enfoques comunicativos que se muestran como interesantes para aprender ciencia de una manera significativa (Scott et al., 2006).

Conclusión 9 (C9): La ontología del modelo que relaciona la estructura de suelos arcillosos con los efectos de las sequías e inundaciones sobre ellos, parte de un modelo de origen sensorial macroscópico incoherente que evoluciona hacia un modelo microscópico corpuscular coherente que permite interpretar las inundaciones de los suelos arcillosos y la formación de grietas cuando posteriormente se secan.

Se ha señalado que el tipo de argumentos contruidos por los estudiantes depende de sus teorías personales sobre cuestiones científicas (Keys, 1997). Sin embargo, hay temas en los que aún no han pensado y a los que las incoherencias en la modelización que van apareciendo en la argumentación los empujan a entrar. Por eso los procesos de modelización generados en la argumentación colaborativa implican la activación de ideas mientras se construyen argumentos. La ontología de esta modelización, que llevó a un modelo construido por los estudiantes y valorado como interesante para incorporar a la ciencia escolar relaciones del

cambio climático con la fertilidad del suelo, partió de un modelo mental inicial basado en la analogía con lo que ocurre con las grietas en paredes revestidas de cemento.

6.2.2 Conclusiones obtenidas de las respuestas a la PI2

Las conclusiones expresadas en este segundo sub-apartado se obtuvieron de dar respuesta a la segunda pregunta de investigación principal (**PI2: ¿Cuál es la validez de argumentos y modelos según sea la intervención del docente, dirigiendo el coloquio sobre cambio climático, en el grupo clase la modalidad científico – tecnológica o en el de humanidades y ciencias sociales?**). Para responder a esta segunda pregunta principal de investigación se siguieron las orientaciones de los objetivos de investigación segundo y tercero (O2 y O3).

Conclusión 10 (C10): Los estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, en el coloquio dirigido por el docente, obtienen mejores valoraciones en la validez de argumentos y modelos relativos a la representación de la media en grados centígrados del aumento de la temperatura global por cambio climático, mientras que el grupo clase de la modalidad científico-tecnológica se expresa en términos de una idea alternativa meteorológica.

Las valoraciones mostradas en la tabla 5.2, que comparan los resultados de validez de los argumentos y modelos de los casos 3 y 4, muestran que en el coloquio conducido por el profesor y dirigido a la participación de todo el grupo de la modalidad de ciencias sociales (caso 4), para la cuestión 2 (segunda fila) relativa al valor del grado en cambio climático, la suma de la valoración de argumentos (9 puntos) y de modelos (7 puntos) es de 16 puntos, sobre el máximo de 17 puntos para esa suma, mientras que el coloquio dirigido por el docente en el grupo de la modalidad de científico–tecnológica (caso 3) muestra una suma de argumentos (4 puntos) y de modelos (no se identifican) de un total de 4 puntos de ese total máximo de 17 puntos. Esta diferencia se puede explicar porque en el currículo de la modalidad de ciencias sociales hay mayor representación de climatología y de los análisis geográficos. Además, hay que tener presente el uso de representaciones sociales en los procesos de enseñanza y aprendizaje del cambio climático (García-Vinuesa et al., 2022) y la expansión de ese uso en el ámbito de las ciencias sociales. Los resultados apuntan a una mayor validez para percibir el valor de la diferencia de 3° C en la temperatura global. Los estudiantes del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica, en el coloquio conducido por el profesor y dirigido a todo el grupo clase, expresaron que la diferencia de 3° C no era significativa. Expresaron eso en un escenario de aumento de temperatura global que en la actualidad preocupa mucho por sus efectos sobre el sistema climático, ecosistemas y seres vivos. Se visualiza que los estudiantes del grupo de la modalidad científico-tecnológica están mostrando su confusión con los conceptos de clima y tiempo (Heras, 2013). También se resisten a interpretar los posibles efectos sobre la distribución de los vegetales y sobre los ecosistemas, teniendo el docente que esforzarse en que entiendan estas relaciones, cuya comprensión y análisis resulta relevante (Shepardson et al., 2017). Por el contrario, en el coloquio dirigido por el profesor en el grupo de clase de humanidades y ciencias sociales sí aplican la diferencia con la representación propia de la climatología, y ejemplifican la diferencia de 3° C como la diferencia de temperatura media de Valencia con la de Galicia, al tiempo que señalan la preocupación por las repercusiones que ese aumento tiene para los seres vivos y para los ecosistemas.

Conclusión 11 (C11): El modelo del aumento del efecto invernadero aparece con una representación más clara, directa e inmediata en el coloquio dirigido por el profesor en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales que en el que dirigió en el grupo de la modalidad científico-tecnológica.

Tal y como se muestra en la tabla 5.2, la validez del modelo del efecto invernadero introducido en la argumentación de la quinta cuestión del coloquio, obtiene una valoración de 5 puntos en el coloquio dirigido por el profesor al grupo de humanidades y ciencias sociales (caso 4) y 4 puntos en el grupo de la modalidad científico-tecnológica (caso 3). La diferencia no es muy significativa pero la expresión del modelo del efecto invernadero se resiste en el de la modalidad de científico-tecnológico y sale ya en la primera intervención en el de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. En la respuesta a la primera pregunta (fila 1), en la que también se demanda el modelo del efecto invernadero, el valor de la validez del modelo es de 6 puntos en el caso 4 y no se visualiza un modelo válido en el caso 3. El mejor desempeño en estrategias de argumentación y la mejor representación de los conceptos clave de clima y cambio climático que mostró el grupo de clase de humanidades y ciencias sociales en el coloquio dirigido por el profesor también podría explicar que el modelo del efecto invernadero aparezca de forma espontánea y rápida con este grupo y se resista en el grupo de la modalidad científico – tecnológico. Los de esta modalidad no utilizan el término efecto invernadero y por lo que explicitan en el discurso, parece que están entendiendo que toda la radiación infrarroja que se retiene procede directamente del sol (Chang y Pascua, 2016), o incluso que radiación visible, en cuyo caso se trataría de una idea alternativa con paralelismo con lo encontrado por (Bodzin et al., 2014) en la que se le atribuía a la radiación visible que incide directamente y la del efecto albedo la capacidad calorífica de la radiación infrarroja. En el grupo de humanidades y ciencias sociales se argumenta más en la línea de la retención de calor, expresando que el dióxido de carbono hace que el calor no pueda salir con normalidad de la Tierra. En el coloquio del grupo clase de la modalidad científico-tecnológica no se mencionó nada que indique que contemplan la retención de calor emitida por la Tierra, en la línea de lo que apuntaron Shepardson et al. (2011). Por eso esta representación mental de la participación del dióxido de carbono en el calentamiento global se aproxima al nivel 4 (Varela et al., 2020) en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales, más orientado hacia las demandas de la ciencia escolar sobre cambio climático.

Conclusión 12 (C12): En los coloquios dirigidos por el docente en ambos grupos se explicitan modelos con ideas alternativas relativas a la relación del dióxido carbono con la capa de ozono en la explicación del calentamiento global.

En la argumentación desarrollada en el coloquio dirigido por el profesor en los dos grupos se expresó en algún momento la idea alternativa de que la capa de ozono está aumentando con las emisiones de gases efecto invernadero. En este caso se atribuye el aumento de la retención de calor por el aumento de ozono debido al aumento de las emisiones de dióxido de carbono lo que supondría introducir elementos de un modelo categorizado en el nivel 3 por Varela et al. (2020) y que se corresponde con el modelo 4 descrito en García-Rodeja y Lima (2012), por cuanto que entiende que el aumento de dióxido de carbono hace incrementar la capa de ozono y parece entender esta capa como una capa de gases contaminantes que retienen el calor.

Conclusión 13 (C13): En los coloquios dirigidos por el profesor, en los dos grupos clase de las dos modalidades, se encuentran resistencias para usar un modelo válido para interpretar el papel de los bosques como sumidero de dióxido de carbono con potencial para mitigar el cambio climático.

Tal y como se observa en la tabla 5.2 el modelo para esa interpretación se valora con 4 puntos (por debajo de la media) en el grupo de la modalidad científico-tecnológica y no se identifica ningún modelo en el grupo de humanidades y ciencias sociales. A pesar de la presencia constante en los medios de comunicación del papel que pueden tener los bosques en la mitigación del cambio climático, no se consigue abordar con éxito en ninguno de los dos grupos que expliciten el papel de la fotosíntesis en la fijación del carbono. Estas dificultades apuntan a la baja competencia del alumnado para comprender verdaderamente el funcionamiento de los ecosistemas (Sweeney y Sterman, 2007), algo fundamental en la ciencia del cambio climático en general, y en este tema en concreto, para comprender los conceptos de sumidero y fuente de carbono. Interesa este modelo para valorar, con el necesario sentido crítico, las propuestas de mitigación del cambio climático mediante reforestaciones.

Conclusión 14 (C14): En los coloquios dirigidos por el profesor en los dos grupos clase de las dos modalidades se encuentra que la subida del nivel del mar se interpreta únicamente desde el deshielo y no contemplan la incidencia de la dilatación térmica.

En la argumentación de los dos grupos se relaciona la subida del nivel del mar al deshielo y no a la dilatación térmica. El grupo de humanidades y ciencias sociales no necesita de desafíos del profesor para relacionar esa subida con el deshielo del hielo continental, pero el de la modalidad científico-tecnológica, sólo a través de los desafíos del profesor, logran llegar a expresar que el deshielo del hielo flotante no incide en la subida del nivel del mar. En ningún momento se observa, en ninguno de los grupos, referencias al factor de la dilatación térmica. Esta ausencia de la consideración de la expansión térmica como un agente responsable del aumento del nivel del mar ya ha sido evidenciada por diferentes autores (McGinnis et al., 2017; Rebich y Gautier, 2005; Sheparson et al., 2017; Sheparson et al., 2011).

Conclusión 15 (C15): En el coloquio conducido por el docente, el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales tiene más dificultades con la modelización para interpretar la no renovabilidad de combustibles fósiles, por falta de conocimientos básicos sobre los procesos geológicos de fosilización y de por la presencia de ideas alternativas sobre los cambios de las transformaciones de la materia de los combustibles fósiles que les llevan a entender la combustión como la liberación del dióxido de carbono por un cambio de estado de sólido (carbón) y de líquido (petróleo) al gaseoso del CO₂.

Tal y como se puede observar en la tabla 5.2 se identifica la construcción de un modelo para explicar la no renovabilidad del carbón y petróleo desde su formación geológica, que se valora con 4 puntos del total de 9, y no se identifica ningún modelo en esa línea en el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales. Los estudiantes del grupo de humanidades y ciencias sociales incorporan una idea alternativa que parece que no aprecia el docente en el contexto del intercambio de ideas del coloquio. Esta queda expresada en los términos de que el dióxido de carbono se libera del carbón y del petróleo por un cambio de estado. Esta idea alternativa podría tener un origen analógico con el ciclo del agua, al que

recurrirían los estudiantes por carecer de ideas específicas. Eso motivaría en este caso que hayan recurrido a activar, por analogía, a la evaporación del agua, porque les puede resultar útil para explicar que se emitan gases cuando se usan el carbón y el petróleo. Tal y como señalan Pozo y colaboradores (1991), las personas con poco conocimiento en un área pueden verse obligados a recurrir aspectos perceptivos para realizar interpretaciones con analogías con otros contextos en los que hacen interpretaciones con los modelos válidos que tienen. Tampoco llegan a tomar en consideración los procesos geológicos de formación del carbón y petróleo por procesos de fosilización que abarcan tiempos geológicos, modelos que si tienen presencia en el grupo de la modalidad científico-tecnológica.

Conclusión 16 (C16): La argumentación y modelización sobre los efectos que puede tener en Galicia el deshielo en Groenlandia debido al cambio climático, tiene mayor validez en el coloquio del grupo de clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales que en la respuesta a la misma cuestión en el grupo de la modalidad científico – tecnológica.

En la novena cuestión, sobre las relaciones geográficas para explicar los efectos del deshielo en Groenlandia sobre las costas gallegas, en el grupo de humanidades y ciencias suma en las valoraciones de argumentos (8 puntos) y de modelos (8 puntos) un total de 16 puntos sobre el máximo de 17 puntos para esa suma, mientras que la suma para la modalidad científico-tecnológica la suma es de 3 puntos en lo relativo a las interpretaciones geográficas de las relaciones del cambio climático en Groenlandia sobre Galicia. En el coloquio del grupo clase de la modalidad humanidades y ciencias sociales se establecieron relaciones coherentes entre posibles efectos sobre Galicia del deshielo en Groenlandia que el docente, a pesar de su implicación con diversas preguntas, no logró que surgieran en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. Por eso en este grupo se vio en la necesidad de improvisar una décima cuestión para facilitar las necesarias conexiones. En el grupo de humanidades y ciencias sociales se expresan efectos de la subida del mar que se asocia al deshielo continental que no apareció en el grupo de la modalidad científico-tecnológica. En el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales no aparece el sesgo geográfico (Heras, 2013) que sí tiene mucha presencia en el coloquio dirigido por el profesor en el grupo de la modalidad científico-tecnológica, actuando como barrera conceptual para esta relación entre efectos entre Groenlandia y Galicia, lo puede justificar que el grupo de la modalidad de científico-tecnológico quedara bloqueado y el docente se viera forzado a improvisar la décima pregunta. Aquí también se puede tomar en consideración el uso de representaciones sociales en los procesos de enseñanza y aprendizaje del cambio climático (García-Vinuesa et al., 2022)

Conclusión 17 (C17): El docente interroga, introduce analogías y ejemplifica más sobre contenidos propios de la Biología y Geología en el coloquio con el grupo de la modalidad científico-tecnológica que en el coloquio con el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales.

Aunque el docente se preocupó en los dos grupos por mantener un discurso centrado en el contenido desde la perspectiva de la disciplina, el número de preguntas, analogías y ejemplos que hace el docente ante preguntas de conocimiento básico de Biología y Geología como fotosíntesis, formación de carbón y petróleo, relaciones ecológicas y distribución de especies, es superior en el grupo de la modalidad científico-tecnológica.

6.2.3 Conclusiones obtenidas de las respuestas a la PI3

Las conclusiones expresadas en este tercer sub-apartado se obtuvieron de dar respuesta a la tercera pregunta de investigación principal (PI3: *¿En qué medida se mantiene la validez de los argumentos y modelos contruidos tres meses antes cuando ahora, un equipo de seis estudiantes de cada modalidad, responden a las mismas cuestiones tres meses después?*), siguiendo las orientaciones de los objetivos de investigación cuarto y quinto (O4 y O5). Debido la clara dimensión comparativa de esta pregunta de investigación se opta por sub-preguntas comparativas de casos (SPCC) más cortas y menos complejas que faciliten la comparación de casos. Con estas sub-preguntas se pretenden comparar los casos 3 y 5 (SPCC1), para explorar diferencias y similitudes cuando seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica vuelven a responder a las mismas cuestiones tres meses después usando únicamente la retentiva cognitiva, sin la participación del docente ni la intermediación de materiales didácticos. Para realizar la misma comparación en la modalidad de humanidades y ciencias sociales se comparan los casos 4 y 6 (SPCC2). Por último, se comparan los dos equipos de seis estudiantes de la misma modalidad abordando la comparativa de los casos 5 y 6 (SPCC3) Para responder a SPCC3 se tiene presente también la comparación de las respuestas a SPCC1 y SPCC2, y en menor grado también las respuestas a PI2.

6.2.3.1 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 1 (SPCC1)

-SPCC1: *¿Qué se retiene y qué cambia en la validez de argumentos y modelos desarrollados tres meses antes en el coloquio conducido por el docente y dirigido a estudiantes de la modalidad científico-tecnológica de 1º de Bachillerato?*

Conclusión 18 (C18): Los seis estudiantes del grupo de la modalidad científico – tecnológica muestran una mejoría en la validez de los argumentos y modelos que construyen tres meses después.

Tal y como se comprueba en las valoraciones de la tabla 5.3, en el caso 3 la suma de las valoraciones de la validez de los argumentos en el conjunto de las cuestiones (49 puntos) con las de las valoraciones de la validez de modelos en el conjunto de todas las cuestiones (23 puntos) tiene un valor total de 72 puntos. La misma suma en el trabajo del equipo de seis miembros de este grupo clase de la modalidad científico–tecnológica (caso 5) es de 88 puntos: 56 puntos por la validez de los argumentos en el conjunto de todas las cuestiones y 32 puntos por la validez de los modelos en el total de las cuestiones. Por tanto, tres meses después del coloquio dirigido por el profesor, el grupo de seis voluntarios de la modalidad científico-tecnológica muestran un buen nivel de retención cognitiva de las representaciones mentales bien articuladas sobre capacidades de argumentación y procesos de modelización desarrollados tres meses antes que les permiten ahora co-construir de forma rápida y correcta argumentos para dar respuestas eficaces a estas cuestiones. En general la argumentación se cierra antes, pero se llega a las mismas, o incluso mejores conclusiones. En esa mayor brevedad de la argumentación para llegar a respuestas bien argumentados es muy probable que esté influyendo los conocimientos sobre argumentación y modelización inducidas por la argumentación conducida por el docente tres meses antes. Los resultados del quinto estudio caso parecen probar los múltiples beneficios y bondades que Monereo et al. (2001) atribuye a la enseñanza cooperativa y colaborativa para promover estrategias de aprendizaje debido a los

propios escenarios cooperativos de co-construcción de argumentos como a la naturaleza de las estrategias de argumentación usadas.

Conclusión 19 (C19): Tres meses después de la intervención del docente, el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica sigue usando la idea alternativa del valor del grado en meteorología para analizar las consecuencias del aumento de 3° C de la temperatura media global.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 5.3, en la respuesta a la segunda cuestión no se identifica en el equipo de trabajo (caso5) el modelo del valor del grado en temperaturas medias globales, lo que es lógico teniendo en cuenta que el coloquio dirigido por el docente a su grupo clase (caso 3) tres meses antes tampoco se encontró. El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica cuando vuelven a participar tres meses después en la argumentación para responder a la pregunta relativa a la importancia del aumento de 3° C en la temperatura media concluyen de inmediato que esa diferencia es importante para los seres vivos. Pero se sigue manteniendo la medida de aumento de temperatura por cambio climático en la representación meteorológica, al ejemplificar la diferencia en base a la diferencia de la temperatura del día y la noche. Al centrarse en las diferencias de temperatura de 3° C entre el día y la noche, no están analizando esta diferencia en términos promedios globales. Posiblemente la búsqueda de este ejemplo de diferencia de temperatura día-noche se deba a la necesidad de recurrir a analizar ese valor en términos de nuestras vivencias cotidianas y diarias de mucho contraste en la sensación térmica. De nuevo aparece aquí el recurso a apoyarse en aspectos perceptivos ante el bajo conocimiento de un área (Pozo et al., 1991). Las dificultades de aprendizaje pueden interpretarse desde el origen sensorial y de las dificultades para diferenciar tiempo y clima (Heras, 2013).

Conclusión 20 (C20): El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico - tecnológica no logra la validez necesaria en los argumentos y modelos que construyen cuando vuelven a responder, tres meses después, a la pregunta sobre el posible papel de las selvas como sumideros de carbono.

Tal y como se puede comprobar en la tabla de valores 5.3 cuando el grupo clase (caso 3) responde al posible papel de las selvas como sumidero consigue un buen nivel de validez de argumentos (7 puntos sobre 9) y un modelo que queda valorado por encima de la media (6 puntos sobre 8). Sin embargo, en el equipo de trabajo de la modalidad científico-tecnológica, tres meses después (caso 5) se sigue teniendo un buen nivel en la validez de la argumentación (6 puntos) pero no se identifica ningún modelo, por lo que no se encuentra una retención cognitiva eficaz de un modelo válido. En el discurso de estos seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica no se hace mención en ningún momento al papel de sumidero de un bosque depende de que los procesos de fotosíntesis predominen sobre los de respiración y descomposición de la materia orgánica, que es el conocimiento básico que respalda la conclusión a la que llegan de que las selvas son sumideros si son juveniles. Hace tres meses tampoco se evidenció que el andamiaje desarrollado por el docente lograra superar la barrera que les impedía entender el funcionamiento de los sistemas arbóreos en el flujo del carbono (Sweeney y Serman, 2007).

Conclusión 21 (C21): El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica logra construir argumentos y modelos válidos en su coloquio con el profesor sobre la influencia del deshielo continental en el aumento del nivel del mar, manteniendo un buen nivel de validez de argumentos y mejorando incluso ligeramente la valoración de los modelos en el coloquio del grupo pequeño desarrollado tres meses después; pero en ambos casos sigue ausente la influencia de la dilatación térmica.

Tal y como se observa en las valoraciones expresadas en la tabla 5.3 en la respuesta a la cuarta cuestión los estudiantes de la modalidad científico-tecnológica del grupo clase y del pequeño grupo consiguen la misma buena valoración en la argumentación (7 puntos) en la respuesta de la influencia del cambio climático sobre el nivel del mar. En la valoración del modelo en el equipo de trabajo (6 puntos) queda ligeramente superior a la obtenida tres meses antes en el coloquio dirigido por el profesor (5 puntos). Los estudiantes sin la intervención del profesor han resultado ser muy ágiles reconstruyendo argumentos y modelos válidos para explicar los efectos del deshielo sobre la subida del nivel del mar. Tres meses antes el proceso fue mucho más largo y los argumentos y modelos menos claros. De aquella el docente buscó un procesamiento profundo (Monereo et al., 2001), del que se logró retener durante los tres meses la relación del deshielo con la subida del nivel del mar, pero también ahora queda sin presencia la influencia de la dilatación térmica.

Conclusión 22 (C22): El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica logra una ligera mejoría en la validez del argumento sobre los efectos del cambio climático sobre el Polo Norte, pero, como en el caso 3, no llegan a construir un modelo bien identificable que explique la diferencia entre los efectos del deshielo de Groenlandia y de los del hielo flotante.

Tal y como se puede ver en la tabla 5.3, los valores del argumento del argumento son ligeramente superiores (5 puntos) en la argumentación del equipo de seis miembros (caso 5) que en la argumentación de su grupo clase (4 puntos) de la modalidad científico-tecnológico. La implicación del docente en desarrollar un andamiaje eficaz, para superar el bloqueo de la argumentación en el coloquio con el grupo de clase de la modalidad científico – tecnológica parecen dar resultado ahora. Aunque tres meses después parecen existir ciertos avances en la dirección del procesamiento profundo, no se llega a identificar con claridad la diferencia del deshielo de Groenlandia del deshielo del hielo flotante.

Conclusión 23 (C23): El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica logra generar argumentos y modelos válidos para relacionar el deshielo en Groenlandia con posibles consecuencias sobre Galicia, alcanzando valores claramente mejores de los que se consiguieron en el coloquio de su grupo clase.

Tal y como se observa en la tabla 5.3, en la cuestión novena (última fila de la tabla), los resultados son claramente mejores en el coloquio del equipo de seis estudiantes sin el profesor (6 puntos en valoración del argumento y 7 en la valoración del modelo) que en el coloquio conducido por el docente tres meses antes en su grupo clase de la modalidad científico-tecnológica (3 puntos en argumentos y no se identifica el modelo). El equipo de seis estudiantes crea argumentos y modelos que relacionan de forma adecuada el deshielo de Groenlandia con las consecuencias en la costa gallega. En ningún momento se observan las dificultades a las que enfrentó el profesor tres meses antes para traer a lo local lo global y para conectar el agua oceánica de Groenlandia con Galicia, y que le llevó a formular la décima

cuestión. En el coloquio que dirigió el profesor tres meses antes los estudiantes no fueron capaces de relacionar la subida del nivel mar en Galicia con deshielos de hielo continental distantes, como puede ser este que está sobre Groenlandia. Las estrategias de argumentación conducidas por el docente tres meses antes, requirieron de andamiajes que le llevaron a improvisar una décima pregunta. Ahora es posible que aquel esfuerzo del docente, ante el bloqueo que supuso la novena pregunta, esté dando sus frutos con esta argumentación y modelización que resultan válidas para buscar la relación entre impactos entre zonas geográficas distantes a través de cambios en corrientes marinas y de la subida del nivel del mar que afectan a Galicia, y que pueden tener relación con el deshielo de Groenlandia. Se mantiene la idea alternativa de que ese deshielo motiva que lleguen peces a Galicia adaptadas hasta ahora a la temperatura de las aguas del Polo Norte.

Conclusión 24 (C24): El equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica logra articular lo aprendido tres meses antes con el profesor para generar ahora argumentos y modelos con mayor rapidez y validez sobre los efectos del cambio climático sobre los bosques.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 5.3, la suma de valores en la valoración de argumentos y de modelos son mejores en el equipo de trabajo del caso 5 (56 en argumentos, 32 en modelos con un resultado de 88 puntos) que en su grupo de clase de la modalidad científico-tecnológica del caso 3 (49 puntos en argumentos 23 en modelos con un resultado de 72 puntos). El equipo de seis estudiantes después de tres meses, relacionan todos los elementos claves del discurso que logró armar el profesor. Ahora argumentan y modelizan logrando aspectos como los efectos de la sequía sobre especies vegetales, los incendios, las plagas de insectos. Se ponen ejemplos oportunos como los riesgos de extensión latitudinal de plagas y aumento de incendios, enunciándose de forma clara y precisa los riesgos de desertificación que cita el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. Partiendo de lo recordado y asimilado en el coloquio con el docente, los seis estudiantes logran establecer conexiones entre elementos interdependientes que interaccionan entre sí generando bucles de retroalimentación con la dinámica de los ecosistemas forestales (Shepardson et al., 2017).

6.2.3.2 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 2 (SPCC2)

-SPCC2: *¿Qué se retiene y qué cambia en los argumentos y modelos desarrollados por los seis miembros del equipo de trabajo en comparación con los desarrollados tres meses antes en coloquio conducido por el docente y dirigido a su grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales de 1º de Bachillerato? (comparación de los estudios de caso 4 y 6).*

Conclusión 25 (C25): El equipo de seis estudiantes de la modalidad humanidades y ciencias sociales logra una menor validez en la argumentación y modelización sobre el aumento del efecto de invernadero que ocasiona el cambio climático que los conseguidos por su grupo clase en el coloquio dirigido por el profesor tres meses antes.

Tal y cómo se puede comprobar en la tabla 5.4, los argumentos y modelos sobre el aumento del efecto invernadero causante del cambio climático que se expresan en la respuesta a la quinta cuestión quedan mejor valorados en el grupo clase (caso 4) de la modalidad de

humanidades y ciencias sociales (6 puntos en argumentos y 5 puntos en modelos) que en el equipo de seis estudiantes de este grupo clase (caso 6) que argumentan para responder a la cuestión tres meses después (3 puntos en argumentos y 3 puntos en modelos). Ocurre lo mismo en la primera cuestión que también demanda del modelo del incremento del efecto invernadero. En la valoración de la argumentación en la respuesta a la primera pregunta del grupo pequeño (caso 6) es de 6 puntos mientras en el caso que en el caso 4 es de 7 puntos; pero la diferencia en la valoración del modelo en primera cuestión es claramente inferior en el grupo pequeño (caso 6) que en coloquio del grupo clase con el profesor del caso 4 (4 puntos en el caso 6 y 6 puntos en el caso 4). Los seis estudiantes del equipo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales muestran un nivel de desempeño inferior en el grado de validez de argumentos y modelos sobre el aumento del efecto invernadero, que el nivel de desempeño en el grado de validez conseguido en el coloquio conducido por el profesor y dirigido a la totalidad del grupo clase. Sin embargo, en el discurso de los seis estudiantes no aparecen modelos alternativos como el que apareció en el coloquio grupo clase de la modalidad de humanidades y ciencias sociales cuando se expresó que las emisiones de dióxido de carbono aumentan la capa de ozono.

Conclusión 26 (C26): El equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales presenta una ligera mejoría la validez de la argumentación y modelización sobre la subida del nivel del mar en relación a la que consiguieron con su grupo clase tres meses antes, incluyendo más y mejores ejemplos y analogías

Tal y como se puede comprobar en la tabla 5.4, el equipo de seis estudiantes (caso 6) obtienen mejores resultados en la argumentación y modelización sobre niveles del mar, aunque sólo ligeramente superiores (7 en argumentos y 7 en modelos en el caso 6 y mientras que su grupo clase – caso 4 – se obtuvo 6 puntos en ambas dimensiones), siendo buenos en ambos casos. Los seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias consiguen modelizar la subida del mar por deshielo con un buen grado de coincidencia del modelo científico y un buen desarrollo ontológico. Esta valoración superior se justifica en que este equipo de seis miembros en que se utilizan analogías y se hace una acertada aplicación de los efectos sobre la línea de costa y el urbanismo que pone en riesgo infraestructuras. Estos ejemplos y analogías enriquecen la validez de los argumentos y modelos contruidos ahora con respecto a los conseguidos por su grupo tres meses antes.

Conclusión 27 (C27): Los seis estudiantes del equipo de trabajo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales consiguen niveles de validez en argumentos y modelos claramente inferiores a los conseguidos por su grupo clase en las respuestas a aquellas cuestiones que requieren de la aplicación de conocimientos básicos de la ciencia escolar.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 5.4, en las cuestiones más relacionados con modelos de biología y geología (cuestiones 5, 6, 7 y 9) los resultados son mejores en el grupo clase (caso 4) de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en argumentos (27 puntos en la suma de argumentos de las respuestas a Q5, Q6, Q7 y Q9) y modelos (19 puntos en los modelos relacionados con esas 4 cuestiones) que en equipo de trabajo de seis miembros de ese mismo grupo clase que repiten las respuestas tres meses después (10 puntos en argumentos y 3 puntos en modelos). Los seis estudiantes de humanidades y ciencias sociales, cuando tienen que usar conocimientos básicos de ciencia escolar como la fotosíntesis, la diferencia entre el deshielo continental y oceánico, los cambios en corrientes marinas utilizan modelos y argumentos menos válidos de los conseguidos en el coloquio con el profesor en su

grupo clase. En esta diferencia, además de la falta ahora de andamiajes y apoyos del docente, posiblemente también hay que tener presente que ahora Sergio no participa y que en el coloquio conducido por el docente hizo aportaciones de mucha calidad.

6.2.3.3 Conclusiones derivadas de la sub-pregunta de comparación de casos 3

-SPCC3: *¿Cómo influye la modalidad en la validez de los argumentos y de los modelos de los conocimientos retenidos por los equipos de seis estudiantes que responden 3 meses después del coloquio conducido por el docente tres meses antes?* (comparación de los estudios de caso 5 y 6).

Conclusión 28 (C28): Los seis estudiantes del equipo de trabajo de la modalidad humanidades y ciencias sociales consiguen niveles de validez en argumentos y modelos claramente inferiores a los conseguidos por los seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica cuando argumentan sobre el aumento del efecto invernadero que es responsable del cambio climático.

Tal y como se puede comprobar en los resultados de la tabla 5.5 en la respuesta a la cuarta cuestión en la que se argumenta sobre el efecto invernadero, en el equipo de trabajo de seis miembros de la modalidad científico – tecnológica (caso 5) obtiene en la validez de argumentos 7 puntos y en la de modelos 6 puntos; mientras que en el equipo de trabajo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se obtiene 3 puntos en ambas dimensiones. En el equipo de humanidades y ciencias sociales se llega a explicitar el efecto invernadero asociado al efecto de regulador térmico del dióxido de carbono, y se presentan, como responsables de su aumento, las emisiones industriales y difusas. Pero la argumentación, se basa en un modelo alternativo cuando se expresa que las emisiones de dióxido de carbono hacen aumentar la capa de ozono, modelo categorizado en el nivel 3 por Varela et al. (2020).

Conclusión 29 (C29): Los seis estudiantes del equipo de trabajo de la modalidad científico – tecnológica consiguen niveles de validez en argumentos y modelos claramente inferiores a los conseguidos por los seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias cuando argumentan sobre la importancia de la diferencia de la temperatura global de 3° C.

Tal y como se puede ver en la segunda fila, correspondiente a la segunda cuestión, de la tabla 5.5 en la segunda cuestión el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades (caso 6) obtiene en la validez del argumento 7 puntos y en el de modelos 6 puntos, mientras que el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica (caso 5) se obtiene 5 puntos en la validez de argumentos y no se identifican modelos. En el equipo de trabajo de la modalidad científico - tecnológica no tienen asimilado el valor del grado en climatología, pues ejemplifica la diferencia en base a la diferencia de la temperatura del día y la noche. Esa idea alternativa parece tener su origen sensorial y lingüístico cultural de las dificultades para diferenciar tiempo y clima (Heras, 2013) porque sitúan esa diferencia en la representación de la meteorología que es familiar para nuestras vivencias cotidianas y diarias, centrándose en las 24 horas de una rotación terrestre que nos deja diferencias en sensaciones térmicas capaces de afectar a nuestro bienestar, determinando así cambios en la vestimenta diaria. Estas diferencias, analizados en términos de retentiva cognitiva, son coherentes con los resultados expuestos en la segunda fila de la tabla 5.2 (comparación de casos 3 y 4), donde los argumentos y modelos construidos en la respuesta a esta cuestión son claramente mejores en

el grupo de humanidades y ciencias sociales, lo que justificaría los mejores valores ahora en la retentiva cognitiva de la validez de los argumentos y modelos desarrollados tres meses antes.

Conclusión 30 (C30): Los equipos de las dos modalidades desarrollan argumentos y modelos con buenas valoraciones muy parejas cuando argumentan las causas de la subida del nivel del mar, pero ninguno de los dos equipos toma en consideración la participación del factor de la dilatación térmica.

Tal y como se puede visualizar en la cuarta fila de la tabla 5.5 los valores de la validez de argumentos son buenas y muy próximas. En el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica (caso 5) se otorga la valoración de 7 puntos y al modelo 6; mientras que en el equipo de humanidades y ciencias sociales (caso 6) se le otorga la puntuación de 7 puntos a la validez de argumentos y modelos. Esto es concordante también con los valores de los dos grupos clase para esta cuestión que se presentan en la cuarta fila de la tabla 5.2. Esa concordancia es coherente con que se ha logrado en los dos grupos una buena retentiva cognitiva de los argumentos y modelos construidos tres meses antes.

Conclusión 31 (C31): Los seis estudiantes del equipo de trabajo de la modalidad científico-tecnológico consiguen niveles de validez en argumentos y modelos superiores a los del equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales en las respuestas a aquellas cuestiones que requieren de conocimientos referidos a la aplicación de conocimientos básicos de la ciencia escolar.

Tal y como se puede comprobar en la tabla 5.5, en las cuestiones que contestan más relacionados con modelos de biología y geología (cuestiones 5, 6, 7 y 9), en el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológico (caso 5) la valoración de los argumentos de las respuestas suma 34 puntos y en la valoración de modelos las respuestas a las cuatro cuestiones suman 26 puntos (total de la valoración de argumentos y modelos: 60 puntos). En el equipo de humanidades y ciencias sociales (caso 6) la suma de valoraciones de argumentos en las cuatro cuestiones es de 10 puntos y la de modelos es 3 puntos (total de la valoración de argumentos y modelos: 13 puntos). Por tanto, la retentiva cognitiva de la validez de argumentos y modelos sobre modelos de biología y geología es claramente superior en el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico-tecnológica.

Conclusión 32 (C32): Los seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica consiguen argumentos y modelos más válidos y de forma más ágil que su grupo clase mientras que el equipo de seis estudiantes de la modalidad de humanidades y ciencias sociales consiguen menores desempeños en la retentiva de la validez de los argumentos y modelos que su grupo clase.

Tal y como se puede observar en la tabla 5.5 la suma de los valores de la validez de los argumentos en el equipo de seis estudiantes de la modalidad científico – tecnológica es 56 puntos que son comparativamente superiores a los de su grupo clase (49 puntos). El equipo de seis miembros de la modalidad de humanidades y ciencias sociales obtiene 35 puntos en la suma de los valores de validez de argumentos, claramente inferior a los de su grupo clase (48 puntos). En la validez de los modelos el equipo de 6 miembros de la modalidad científico – tecnológica obtiene un total de 32 puntos, superior al de su grupo clase (23 puntos); mientras que el equipo de seis miembros de la modalidad de humanidades y ciencias sociales obtiene un total de 24 puntos, inferior al de su grupo clase (34 puntos). La comparativa de estos resultados muestra que la retentiva cognitiva de los argumentos y modelos desarrollados tres

meses antes se muestra más eficaz en el grupo científico – tecnológico y cuando vuelven a argumentar en el grupo de seis estudiantes tres meses después, se vieron superados las barreras a las que se hizo frente en la argumentación en el coloquio con toda la clase. En el grupo de la modalidad de humanidades y ciencias sociales se obtuvieron resultados claramente inferiores, por lo que la retentiva fue menos eficaz.

6.3 IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Las siguientes implicaciones educativas han sido extraídas de las conclusiones de este estudio.

6.3.1 Implicaciones educativas sobre las conclusiones relacionadas con O1 (de C1 a C9)

De las Conclusiones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 relacionadas con el objetivo de la investigación O1 se extraen cuatro implicaciones educativas:

- **Implicación educativa 1 (IE1):** Para que los ciudadanos se comprometan en el reto de asegurar la seguridad alimentaria en el planeta en cambio climático, interesa que los estudiantes desarrollen habilidades argumentativas con las que puedan implicarse en transmitir sensibilización y conocimientos para cambiar actitudes, logrando comunicar con claridad y rigor a los demás la urgencia y la relevancia de estos retos globales. Para ejercitar estas habilidades, los estudiantes deben tener la oportunidad de aprender a estructurar sus propias ideas y analizar sus opiniones y las de los demás. El discurso científico sobre cambio climático y ciencias del suelo debe contener claridad de argumento, precisión en distinguir entre los diversos factores que pueden ser relevantes para los fenómenos discutidos, y consistencia de los hechos. Por eso interesa que los estudiantes desarrollen estas cualidades durante su formación científica escolar básica. La aplicación de estas estrategias de argumentación a todos los escolares en su formación básica secundaria atiende a la necesidad que tiene la ciudadanía actual y futura de intercambiar opiniones bien fundamentadas sobre asuntos como la fertilidad del suelo en los escenarios del cambio climático. Esa opinión pública racional, crítica y constructiva es fundamental para conseguir el estado de opinión y compromiso individual y colectivo que garantice la seguridad alimentaria de una población que en los últimos quince años aumentó en más de mil quinientos millones de habitaciones.
- **Implicación educativa 2 (IE2):** Se necesita más investigación para aclarar cuál debe ser el papel del docente en diferentes momentos durante las actividades. De esa forma se puede ayudar a los estudiantes a involucrarse en discursos de calidad cada vez más alta, para que haya oportunidades para articular ideas que pueden evolucionar para volverse más sofisticadas y de acuerdo con las ideas científicas. Retos como la garantía de la fertilidad del suelo en el contexto del cambio requieren un abordaje crítico y de colaboración en la construcción de argumentos y modelos, y por eso se necesita más investigación sobre los mejores criterios de intervención docente.
- **Implicación educativa 3 (IE3):** Para fortalecer la validez de argumentos y modelos sobre la formación del suelo es recomendable realizar una visita a un perfil

edafológico. Interesa que ese perfil, a visualizar y a fotografiar, tenga en el horizonte B todavía se identifique alguna relación con su origen de la roca madre, como pueden ser minerales de cuarzo de un antiguo filón. Pero interesa sobre todo que tenga un claro perfil C que permita intuir la meteorización de la roca madre para ayudar a comprender la formación autóctona del suelo. Cuando sea posible, se recomienda que los docentes de ciencias de la naturaleza de una determinada zona se coordinen para seleccionar el perfil más paradigmático. Una vez seleccionado resulta oportuno fotografiar detalles de ese perfil para usarlas en el andamiaje. Este proceso intuitivo de observación directa, seguida de la indirecta en actividades en el aula, requiere de un diseño de un andamiaje enfocado a interpretar la formación del suelo autóctono en los tiempos geológicos.

- **Implicación educativa 4 (IE4):** Para superar las barreras que se identifican para la comprensión de los procesos químicos en la formación, evolución y fertilidad de los suelos, interesa buscar evidencias, datos analogías y símiles que impliquen la introducción de esos procesos químicos derivados de la acción del agua, del aire y de los seres vivos. Los andamiajes contruidos desde las relaciones, analogías y símiles derivados de prácticas experimentales escolares pueden ir acompañados de representaciones infográficas que ayuden a la modelización sobre la actuación de estos procesos químicos en la formación del suelo. También es deseable su edición relacionada con fotografías ejemplos y los apoyos de titulación y textos, vinculados a las preguntas más sustantivas del andamiaje diseñado desde la revisión del modelo extraído de estos resultados. Previo a la realización de estas actividades conviene realizar actividades de exploración de las ideas de los estudiantes que permitan activar las ideas y modelos alternativos sobre formación del suelo de los estudiantes.

6.3.2 Implicaciones educativas sobre las conclusiones relacionadas con O2, O3, O4 y O5 (de C10 a C32)

De la conclusión 10 a la 32 (de C10 a C32) relacionadas con los objetivos O2, O3, O4 y O5 se sacan las siguientes implicaciones educativas:

- **Implicación educativa 5 (IE5):** Interesa generar propuestas didácticas contextualizadas donde se introduzcan posibles impactos del cambio climático. Esto es importante sobre todo en lo relativo a la modelización que ayude a romper la barrera de visualización de impactos en lugares distantes y no en los contextos próximos (Gifford et al., 2011). Esas ausencias de representaciones de impactos del cambio climático en lo próximo pueden actuar de bloqueantes para visualizar los impactos y disminuir así la motivación. El hecho de no visualizar la gravedad en lo que es lo próximo, puede ser una manera de manejar el problema sin tener que implicarse en actividades para la mitigación (Doherty y Clayton, 2011) y el compromiso para participar en la mitigación y en la adaptación. Entre estas intervenciones se pueden destacar:

- 5.1 Simular los efectos erosivos de los incendios vinculando estos riesgos de erosión y desertificación al del aumento de riesgos por cambio climático con arrastres de tierra en pendientes diferentes en terrarios en los que se simula la lluvia con una

regadera, y repetir el proceso con tierra vegetada una vez germinadas semillas de gramíneas.

5.2 Diseñar y ejecutar con corrección técnica la reforestación de un bosque quemado.

5.3 Medir el aumento del nivel del mar en la costa próxima, donde van a la playa, según los datos de previsiones para Galicia y hacer el dibujo del paisaje hace 100 años, ahora con una visión imaginativa futurista, a inicios del siglo XXII, incorporando las previsiones en el escenario medio del IPCC. Es recomendable desarrollar estrategias de argumentación sobre las consecuencias de la subida del mar, basadas en estas fotografías antiguas y dibujos del pasado, actuales y dibujos del futuro, desde medidas tomadas en las playas próximas de menor pendiente.

5.4 Desarrollar proyectos escolares para estudiar la distribución, cobertura y biodiversidad en zonas con diferente intervención humana en praderas marinas consiguiendo series a partir de muestreos anuales (Sóñora et al., 2019).

- **Implicación didáctica 6 (IE6):** Para adquirir la representación de la importancia del grado en cambio climático, interesa desarrollar actividades multimedia en las que los estudiantes carguen datos reales de series de los últimos 30 años que faciliten la construcción inmediata de climogramas de clima continental con los datos de estaciones de la costa climas contrastados (oceánico, continental, mediterráneo de costa, mediterráneo de interior, etc.). La generación de las gráficas puede ir acompañadas de preguntas tipo cuestionario online con apoyos de los recursos necesarios y diseñadas como andamiaje para la facilitar la modelización. Esas preguntas pueden ir asociadas a explicación de errores o con una posibilidad de hacer un nuevo intento ante errores. Es interesante que en esos andamiajes se puedan incluir las posibilidades de cambios en los climogramas por aumento de temperatura global que se introduzcan en la actividad online. También interesa introducir retos relativos a especies paradigmáticas de esos climas que puedan cambiar su distribución si cambia un clima por otro, a medida que sube la temperatura global, pudiendo incluir también preguntas que se refieren a los motivos del cambio.
- **Implicación didáctica 7 (IE7):** Para conseguir una modelización más válida sobre el efecto del invernadero, interesa realizar preguntas sobre animaciones que implique los tres tipos de radiación incidente en sus porcentajes medios (visible, infrarroja y ultravioleta) y las emitidas por la superficie terrestre (albedo y calorífica). Eso iría apoyado en la medida de temperatura de termómetros dentro de un mismo vaso de precipitados con el mismo volumen de agua, cubriendo uno de ellos con un vaso de precipitados (Sóñora et al., 2009). En la modelización de la retención de radiación calorífica por el CO₂ interesa poder variar las concentraciones de 0,03% que había en el siglo pasado, a la actual que ya supera 0,04% (las 400 partes por millón), y a una de la doble de la actual. Sobre esta base de modificación de datos de porcentajes de dióxido de carbono, interesa introducir cuestionarios que permitan reflexionar sobre el aumento de las emisiones y las medidas de mitigación y adaptación que se pueden adoptar.
- **Implicación didáctica 8 (IE8):** Interesa simular en el laboratorio escolar la diferencia del deshielo flotante del que está sobre rocas (Sóñora et al., 2009).

- **Implicación didáctica 9 (IE9):** Resulta interesante evidenciar el “factor oculto” de la subida del nivel del mar por dilatación térmica mediante prácticas de laboratorio.
- **Implicación didáctica 10 (IE10):** Resulta recomendable que la ciencia escolar del cambio climático se construya de forma transversal mediante el desarrollo de capacidades de argumentación que impliquen procesos de modelización que compartan la visión de las ciencias experimentales con las ciencias sociales. Para conseguirlo se pueden seguir diferentes estrategias entre las que se citan a modo de ejemplos orientativos:

10.1 Realizar juegos de rol sobre decisiones urbanísticas y obras públicas en entornos costeros y argumentar, apoyándose en fotos, vídeos y animaciones, sobre las consecuencias de esas intervenciones en diferentes contextos relacionables con el cambio climático, como por ejemplo las inundaciones. La ciencia escolar del cambio climático interesa enseñarla vinculada a implicaciones para nuestra economía, salud y servicios ecosistémicos a través de las planificaciones transversales de proyectos curriculares entre los departamentos de ciencias naturales y ciencias sociales. Esa colaboración entre los dos departamentos tiene potencial para conseguir una ciencia escolar de calidad.

10.2 Los proyectos transversales de modelización convergente de las ciencias naturales y sociales, interesa que queden también abiertos al diálogo y colaboración de los docentes de ciencias naturales y de ciencias sociales con los de los ámbitos lingüísticos, tecnológicos y artísticos para abordar las necesidades de expresión creativas que requiere la enseñanza y aprendizaje del cambio climático (Sóñora et al., 2019).

10.3 El desarrollo de esos proyectos educativos centrados en los argumentos y modelos de convergencia entre las ciencias naturales y sociales interesa vincularlos a proyectos de formación del profesorado en centros desarrollados y/o a seminarios permanentes de formación del profesorado dentro de los planes institucionales de formación del profesorado.

10.4 Para conseguir la viabilidad del desarrollo de esos proyectos que requieren de infografías, animaciones y desarrollos multimedia, interesa buscar financiación para el desarrollo de los proyectos en consorcios y centros diferentes en convocatorias de libre concurrencia competitiva como por ejemplo las convocatorias de innovación educativa Erasmus+ del sector escolar.

10.5 Existen oportunidades en esta colaboración para generar argumentos y modelos que tengan equilibrio entre la coherencia económica y ecológica para abordar de forma crítica y colaborativa la toma de decisiones en propuestas de mitigación y adaptación al cambio climático en términos de fuentes de energía, de medidas urbanísticas y de obras públicas portuarias, gestión racional de bosques y plantaciones forestales, teniendo presente los potenciales riesgos de incendios, gestión racional del suelo, etc.

10.6 Interesa trabajar con balances de datos de emisiones de los sectores industriales, domésticos, agrícolas y las difusas derivadas de la movilidad, calefacciones y/o aires acondicionados, con participación en la mitigación de los bosques y

océanos como sumideros, introduciendo la fijación en la fotosíntesis, la respiración y la descomposición, con la participación en las emisiones del laboreo del suelo. En los cálculos interesa introducir el concepto de sostenibilidad de los servicios ecosistémicos.

10.7 Resulta útil integrar modelos de ciencia escolar con representaciones sociales para facilitar la argumentación y la modelización transversal entre las ciencias naturales y las ciencias sociales que requiere la enseñanza y aprendizaje del cambio climático, la fijación y emisiones de bosques, campos, etc.

10.8 Interesa potenciar la transversalidad derivada de enfoques didácticos mixtos entre de las ciencias de la naturaleza y de las ciencias naturales para situar el cambio climático en el centro del currículum usando la controversia moral como un elemento ético central en una Educación para en Cambio Climático orientado a la descarbonización de las sociedades (Caride y Meira, 2019).

6.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las limitaciones del estudio se relacionaron en parte con la metodología de enfoque cualitativo de estudios de caso con dos temáticas transversales con potencial interés de relación curricular. Esta investigación constituyó un estudio de caso múltiple con dos casos centrados en ciencias del suelo tercero de la ESO (14-15 años de la secundaria básica española) y cuatro casos, con un enfoque comparativa en cuanto a modalidad y tipo agrupamiento con diferente rol – docente y discente - de dirección del coloquio en 1º de Bachillerato (16-17 años de la secundaria superior española). Las limitaciones de los estudios de esta naturaleza, que involucran a grupos de clase de centros y niveles específicos, no permiten obtener resultados generalizables a otros contextos. Sin embargo, como se puede comprobar en los resultados, su discusión y conclusiones, cabe destacar que la coincidencia en las ideas y modelos descritos en este estudio con los ya descritos en la literatura.

El hecho de que sean prácticas de investigación acción en contextos con poca generalidad puede ser objeto de cuestionamiento en cuanto a la validez y a la representatividad de estos estudios. Sin embargo, al tratarse de clases en comunidades de aprendizajes en procesos de desarrollo curricular reales, permite obtener conocimientos de mayor interés sobre la argumentación que en cualquier estudio de aprendizaje montada en condiciones de laboratorio diferentes a la del aula ordinaria (Brown, 1992) como pueden ser encuestas, entrevistas, cuestionarios, etc. Esas particularidades distancian a la propuesta didáctica del uso frecuente de libros de texto escolares, que por lo general priorizan capacidades cognitivas básicas identificadas empíricamente (García et al., 2021) frente a las capacidades de argumentación y modelización asociadas a la competencia científica que demanda una propuesta didáctica necesaria en esta materia. Por eso el desarrollo de estas investigaciones educativas cualitativas destinadas a estudiar el desarrollo de capacidades de argumentación propias de la competencia científica requieren del diseño de propuestas didácticas y estrategias propias. Esto puede motivar la aparición de dificultades para encontrar programaciones didácticas flexibles para la introducción de este tipo de estudios y docentes con la capacidad y disposición para desarrollarlos. El hecho de que este tipo de investigaciones se asocien a unidades y estrategias didácticas singulares e innovadoras, puede suponer resistencias a la innovación que dificulten la ejecución de estas investigaciones, a pesar de que puedan

despertar expectativas de las comunidades escolares de obtener así mejores resultados (Brown, 1992).

Por otro lado, al tener los estudios de caso de argumentación en ciencias del suelo y ciencias del cambio climático, conlleva diferentes ubicaciones en las materias del currículo de secundaria. Eso puede implicar dificultades para relacionarlos en un mismo curso, y por tanto en un mismo grupo de clase. Estas dificultades se ven incrementadas cuando hay que integrar contenidos, que ya de por sí, son interdisciplinarios como el suelo y el cambio climático. Si los enfoques interdisciplinarios como las ciencias del suelo y del cambio climático dificultan su aprendizaje, estudiar las relaciones entre ambos retos complica todavía más. Pero estos aprendizajes deben incorporarse a la alfabetización científica en base a la urgencia de entender las relaciones entre los dos retos quedó evidenciado por el informe IPCC del 7 de agosto de 2019. La urgencia de realizar transposiciones didácticas desde el contenido de este informe se justifica desde la relevancia que tiene para el futuro de la humanidad, al ser el suelo un recurso decisivo que se encuentra sujeto a la presión del ser humano y del cambio climático. Este enfoque conceptual orientado a la acción por el clima centrada en la fertilidad del suelo implica situar a los estudiantes ante la resolución de problemas auténticos, en tareas vinculados a aspectos relevantes para su vida. Por eso la argumentación los coloca en un rol que garantiza la actividad del alumnado, al requerir de ellos un papel más activo en la argumentación que la de las clases convencionales, en las que apenas suele haber comunicación de los estudiantes entre sí (Jiménez-Aleixandre, 2003). Desde este punto de vista es importante configurar comunidades de aprendizaje que argumenten en contextos de indagación en los que el alumnado se implique en la resolución de problemas auténticos relevantes para la vida de los estudiantes y que requieran de la comunicación de los estudiantes entre sí (McGinn y Roth, 1999). Estos contextos se ven favorecidos por el diseño de unidades didácticas innovadoras que estimulen la argumentación (Brown, 1992).

Otra limitación importante radica en la diferencia de etapa en el que se hace el estudio porque uno se desarrolla en secundaria obligatoria y otro en secundaria postobligatoria. Pero eso es una barrera inducida por las diferentes ubicaciones curriculares de las dos temáticas con potencial e interés de relación a nivel de la enseñanza secundaria: la ciencia escolar de secundaria del suelo y la ciencia escolar del cambio climático.

Por tanto, estas limitaciones ya estaban presentes en la naturaleza y enfoque de la investigación, pero aun así se siguió ese enfoque porque el interés del estudio no estaba en generalizar resultados, dada la naturaleza cualitativa de la investigación, que involucra sólo a tres contextos de aula de dos niveles diferentes. Se planteó el estudio con interés de compararlo con otros estudios de similar naturaleza que permitan ir incorporando al currículo los avances en la ciencia escolar que relacione el cambio climático con otros impactos ambientales como los expresados en el informe del IPCC del 7 de agosto de 2019.

En esta línea, y en base a lo expresado sobre la relevancia del estudio en el primer capítulo introductorio, se apuntan las siguientes líneas de investigación siguiendo este enfoque y aplicándolo al informe, avanzando hacia la introducción en el currículo de las relaciones del cambio climático con los océanos y la criosfera - las zonas congeladas del planeta - desempeñan una función decisiva para la vida en la Tierra. En este estudio se vio la dificultad de introducir estos temas en el mismo contexto curricular y con relaciones conceptuales que le permitan participar a ambos ámbitos que se relacionan con la simetría y equilibrio necesario entre los elementos curriculares entre ambos ámbitos.

Por eso se propone ubicar esas relaciones que son fundamentales para el futuro inmediato de la humanidad, los ecosistemas en general y los ecosistemas servicio en particular en proyectos de innovación educativa. Una vía muy natural para hacerlo es la convocatoria de Erasmus+ a nivel europeo, a nivel del Estado las convocatorias de agrupaciones para la cooperación territorial e innovación educativa de la Secretaría de Estado de Educación y a nivel autonómico las convocatorias del tipo de los contratos programa de Galicia. En este tipo de proyectos que orienten hacia el sector escolar a las futuras líneas de investigación, se contempla que la investigación se desarrolle desde las universidades por lo que interesa canalizar esas líneas a través de convocatorias del tipo de la modalidad de innovación educativa multisectorial articulada desde el sector escolar en el enfoque KA220 para el sexenio Erasmus+ 2021-2027.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., del Mar Aragón-Méndez, M., & Oliva-Martínez, J. M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista científica*, 3(30), 155-166.
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 36, 63-75.
- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). *El suelo y el cambio climático*. Recuperado de: <http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>.
- Alexander, R. (2017). *Towards dialogic teaching: Rethinking classroom talk*. Cambridge: Dialogos.
- Almendros, G., Polo, A., Ibáñez, J. J., & Lobo, M. C. (1984). de la materia orgánica del suelo. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 21(1), 7-20.
- Alonso, J. A. (2013). *El Planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones*. Editorial Club Universitario.
- Álvarez-Álvarez, C. (2008). La etnografía como modelo de investigación en educación. *Gazeta de Antropología*, 24 (1).
- Álvarez-Gayou, J. (2003). *Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología*. México: Paidós.
- Álvarez, A. & del Río, P. (1990). Educación y desarrollo: La teoría de Vygotsky y la Zona de desarrollo próximo. En C. Coll, J. Palacios e A. Marchesi (Comps.), *Desarrollo psicológico y educación*, II. Psicología de la Educación. Madrid: Alianza.
- Álvarez, R. M. & García, E. (1996). Los modelos analógicos en Geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de materiales terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 133-139.
- Álvarez, V. M. (1997). Argumentación y razonamiento en los textos de Física de secundaria [Argumentation and reasoning in the texts of secondary Physics]. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11, 65-74.

- Anyanwu, R., & Grange, L. L. (2017). The influence of teacher variables on climate change science literacy of Geography teachers in the Western Cape, South Africa. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 26(3), 193-206.
- Aparicio, J. J., & Moneo, M. R. (2000). Los estudios sobre el cambio conceptual y las aportaciones de la Psicología del Aprendizaje. *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 26, 13-30.
- Arto, M., & Meira, P. A. (2011). Cuéntaselo a Gurb. El cambio climático y las ideas previas [Tell it to Gurb. Climate change and previous ideas]. En P.A. Meira (Ed.), *Conoce y valora el cambio climático. Propuestas para trabajar en grupo*, 17-23. Santiago de Compostela: Mapfre.
- Astolfi, J. P. (1988). El aprendizaje de conceptos científicos: aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 147-155.
- Ausubel, D.P. (2002). Resumen de la teoría de la asimilación sobre el aprendizaje y la retención de carácter significativo. En D.P. Ausubel, *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona
- Ausubel, D.P., Novak, J.D. y Hanesian, H. (1983): *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Bakhtin, M. M. (1981). *The dialogic imagination*. Austin: University of Texas Press.
- Barros, H., & Pinheiro, J. (2020). Climate change perception by adolescents: reflections on sustainable lifestyle, local impacts and optimism bias (Percepción del cambio climático en adolescentes. Reflexiones sobre los estilos de vida sostenibles, el impacto local y el sesgo optimista). *PsyEcology*, 11(2), 260-283.
- Bello, L. O., Meira Cartea, P. Á., & González Gaudiano, E. J. (2017). Representaciones sociales sobre cambio climático en dos grupos de estudiantes de educación secundaria de España y bachillerato de México. *Revista mexicana de investigación educativa*, 22(73), 505-532.
- Berland, L. K., & Hammer, D. (2009). Tension between epistemology of scientific argumentation and institutional expectations for student and teacher roles. En *Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA*.
- Bernstein, B. (1988). *Clases, códigos y control. Vol. II. Hacia una teoría de las transmisiones educativas*. Madrid: Akal.
- Blanco Á., & Prieto, T. (1994). Las disoluciones: dificultades de aprendizaje y sugerencias para su enseñanza. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*.
- Bliss, J., Monk, M., & Ogborn, J. (1983). *Qualitative data analysis for educational research: A guide to uses of systemic networks*. Routledge Kegan & Paul.
- Bodzin, A. M., Anastasio, D., Sahagian, D., Pfeffer, T., Dempsey, C., & Steelman, R. (2014). Investigating climate change understandings of urban middle-level students. *Journal of Geoscience Education*, 62(3), 417-430

- Bonals Picas, J. (2021). *Educar alumnos socialmente competentes mediante sesiones de conversación* (Vol. 339). Grao.
- Bord, R. J., O'Connor, R. E., & Fisher, A. (2000). In what sense does the public need to understand global climate change? *Public understanding of science*, 9(3), 205-218.
- Bostrom and D. Lashof. (2007). *Weather it's climate change, in Creating a climate for change* (S. Moser and L. Dilling eds.) Cambridge University Press, New York U.S.A.
- Bravo, B., Puig, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación química*, 20(2), 137-142.
- Brown, A. L., & Campione, J.C. (1990). Communities of learning and thinking or a context by any other name. In D. Kuhn (Ed.), *Developmental perspectives on teaching and learning thinking skills* (pp. 108-126). Michigan: Karger Publishers.
- Brown, A.L. (1992). Design Experiments: theoretical and Methodological Challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the learning Sciences*, 2, pp. 141-178.
- Brown, J. L., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Bruner, J. S. (1983). *Child's talk. Learning to use language*. New York: Norton
- Bruner, J. S., & Acción, P. (1984). *Lenguaje*. Madrid: Alianza.
- Bruner, J.S. (1986), *Realidad mental y mundos posibles. Los actos de la imaginación que dan sentido a la experiencia*. Barcelona: Gedisa.
- Bruner, J.S. (2003), *La fábrica de historias. Derecho, literatura, vida*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Buckley, B. C. (2012). Model-based learning. *Encyclopedia of the sciences of learning*, 5, 2300-2303.
- Buzan, T. (2004). Cómo crear mapas mentales. *World*, 5488(0804), 5488-2900.
- Cajide, J. (1992) La investigación cualitativa: tradiciones y perspectivas contemporáneas. *Bordón*, 44, 4: 357-373.
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M., Kiriazis, N. y Zuwallack, R. (2015). A review of modeling pedagogies: Pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(1), 159-176.
- Candela, A. (1998). Students' power in classroom discourse. *Linguistics and education*, 10(2), 139-163.

- Candela, M. A. (1991). Argumentación y conocimiento científico escolar. *Infancia y aprendizaje*, 14(55), 13-28.
- Caride, J. A., & Meira, P. A. (2019). Educación, ética y cambio climático. *Innovación Educativa*, (29), 61-76. <https://doi.org/10.15304/ie.29.6336>
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 388-402.
- Caviglia, O. P., Wingeyer, A. B., & Novelli, L. E. (2016). El rol de los suelos agrícolas frente al cambio climático. *Serie de Extensión INTA Paraná*, 78, 27-32.
- Cazden, C. (1991). *Metalinguistic awareness revisited: its contribution to the child's appropriation of form*. Paper presented at the Australian Reading Association Conference.
- Chang, C. H., & Pascua, L. (2016). Singapore students' misconceptions of climate change. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 25(1), 84-96.
- Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. *International handbook of research on conceptual change*, 61, 82.
- Chin, C., & Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(2), 109-138.
- Choi, S., Niyogi, D., Shepardson, D. P., & Charusombat, U. (2010). Do earth and environmental science textbooks promote middle and high school students' conceptual development about climate change? Textbooks' consideration of students' misconceptions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(7), 889-898.
- Clement, J. J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Cobb, P., & Yackel, E. (1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational psychologist*, 31(3-4), 175-190.
- Cornelius, L. L., & Herrenkohl, L. R. (2004). Power in the classroom: How the classroom environment shapes students' relationships with each other and with concepts. *Cognition and instruction*, 22(4), 467-498.
- Crujeiras-Pérez, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42.
- Crujeiras-Pérez, B., Martín-Gamez, C., Díaz-Moreno, N., & Fernández-Oliveras, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las ciencias*, 38(3), 125-142.

- De Longhi, A. L., Ferreyra, A., Peme, C., Bermudez, G., Quse, L., Martinez, S., Iturralde, C & Campaner, G. (2012). La interacción comunicativa en clases de ciencias naturales. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 9(2), 178-195.
- Debonne, N. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: Chapter 1: Framing and Context.
- Dewey, J. (1966). *Lectures in the Philosophy of Education*. New York: Random House.
- Dewey, J. (1967). *Democracia y Educación. Una introducción a la Filosofía de la educación*, Buenos Aires: Losada
- Dimas, S. & Gnacadja, L. (2009). Prefacio. In: Cambio climático: ¿el suelo puede cambiar las cosas? Informe de la conferencia. Bruselas 12 de junio de 2008. Luxemburgo: Comisión Europea. pp. 7-8
- Doherty, T. J., & Clayton, S. (2011). The psychological impacts of global climate change. *American Psychologist*, 66(4), 265.
- Dove, J. (1997). Student ideas about weathering and erosion. *International Journal of Science Education*, 19(8), 971-980.
- Driscoll, M. (2000). *Psychology of learning for instruction*. Allyn & Bacon.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5), 481-490.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1978), 61-84.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classrooms. *Educational Research*, 23(7), 5-12.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Children's ideas and the learning of science. *Children's ideas in science*, 1-9.
- Driver, R., Newton, P., Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), p. 287-312.
- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., ... & Valladares, F. (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.
- Duchsl, R.A. (1998). La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 3-20.
- Ducret, J., & Ducret, J. (2001). Dossier. El constructivismo y la educación. Revista trimestral de educación comparada. UNESCO, 31(2), 157.

- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Dupar, M. (2019). *El Informe Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra: ¿qué significa para América Latina?* Cape Town: Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), Overseas Development Institute, SouthSouthNorth y Fundación Futuro Latinoamericano.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of research in education*, 32(1), 268-291.
- Duschl, R. A. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo* (Vol. 139). Narcea Ediciones.
- Duschl, R. A., & Ellenbogen, K. y Erduran, S. (1999). Middle school science students' dialogic argumentation. In *Proceedings of the 2nd international conference of the European Science Education Research Association "Research in science education: Past, present, and future"*.
- Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1996). Project Sepia design principles. In *Annual meeting of AERA*, Nueva York.
- Elliott, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Ediciones Morata.
- Engle, R. A., & Conant, F. R. (2002). Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: Explaining an emergent argument in a community of learners classroom. *Cognition and Instruction*, 20(4), 399-483.
- Erickson, F. (2012). Qualitative research methods for science education. In B.J. Fraser, & K.G. Tobin (Eds), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1451-1469). Dordrecht: Springer.
- Erlandson, D. A., Harris, E. L., Skipper, B. L., & Allen, S. D. (1993). *Doing naturalistic inquiry: A guide to methods*. Sage.
- Fernández, A. (2015). *As Ciencias do solo no ensino secundario. Proposta de actividades*. Trabajo Fin de Máster. Universidade de Santiago. (Sin publicar).
- Fernández, A., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2017). Modelos mentales de los estudiantes de secundaria sobre el suelo. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(2), 127-145.
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. Rio de Janeiro: Paz&Terra.
- Gabathuler, E., Liniger, H., Hauert, C. & Giger, M. (2009). *Beneficios de la gestión sostenible de la tierra*. Germany: Wachs, Ted & Thobault, Marlene, eds. Bern, WOCAT, CDE & University of Berne. 16p.
- Gaioli, M., & Blazquez, A. (2016). Impacto del cambio climático en la salud. *Med. infant*, 54-59.

- García-Fayos, P. (2008). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. In *Ecología del bosque Mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 311-336). Organismo Autónomo de Parques Nacionales
- García-Rodeja, I., & Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos sección investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 0195-218.
- García-Rodeja, I., & Lima, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 195-218.
- García-Rodeja, I., & Sesto, V. (2021). ¿Qué entendemos por cambio climático? Estudios sobre las ideas y los modelos explicativos de los estudiantes. *Pluralidad y Consenso*, 10(46), 36-43.
- García-Vinuesa, A., Meira, P., Caride, J. A., & Bachiorri, A. (2022). El cambio climático en la educación secundaria: conocimientos, creencias y percepciones. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(2), 25-48.
- García, S., Martínez, C., & Rivadulla, J. (2021). Actividades de textos escolares. Su contribución al desarrollo de la competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 219-238.
- Gee, J. P. (1998). What is literacy? In R. Spack, & V. Zamel (Eds.), *Negotiating academic literacies: Teaching and learning across languages and cultures* (pp. 51-60). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gee, J. P., & Handford, M. (Eds.). (2013). *The Routledge handbook of discourse analysis*. Routledge.
- Gibbs, G. R. (2018). *Analyzing qualitative data* (Vol. 6). Sage.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México, D. F.: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- Gifford, R. (2011). The dragons of inaction: psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American psychologist*, 66(4), 290.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Basel: Springer.
- Giordan, A. (1989). Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 53-62.
- Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gómez Blanco, A., & Moncada, J. A. (2015). Ideas sobre cambio climático y consumo energético en estudiantes de Ingeniería de la UNEXPO-LCM. *Revista de Investigación*, 39(85), 93-113.

- Gómez Blanco, A., & Moncada, J. A. (2015). Ideas sobre cambio climático y consumo energético en estudiantes de Ingeniería de la UNEXPO-LCM. *Revista de Investigación*, 39(85), 93-113.
- Gómez, M. A., & Pozo, J. I. (2000). Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya: revista de investigación e innovación educativa*.
- Gore, A., Hunter, R., Toresano, P. R., Araújo, J., & Calpe, E. (2008). *Una verdad incómoda para futuras generaciones. Los peligros del calentamiento global explicados a los jóvenes*.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique*, 42, 8-18.
- Happs, J.C. (1981). *Soils. Science Education research unit. Working Paper 201*. Hamilton: Waikato University.
- Harris, S. E., & Gold, A. U. (2018). Learning molecular behaviour may improve student explanatory models of the greenhouse effect. *Environmental Education Research*, 24(5), 754-771.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hennessy, S. (1993). Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for classroom learning. *Studies in Science Education*, 21, 1-41.
- Hennessy, S., Deaney, R., & Ruthven, K. (2003). *Pedagogic strategies for using ICT to support subject teaching and learning: An analysis across 15 case studies. Research Report 03/1*. Cambridge: University of Cambridge.
- Heras, F. (2003). Conocer y actuar frente al cambio climático: obstáculos y vías para avanzar. Carpeta informativa del CENEAM. En internet: www.mma.es/ceneam Published: 02 December 2004
- Heras, F. (2008). VI. Comunicar el cambio climático. ¿En qué estamos fallando?: *Cambio social para ecologizar el mundo*, 281, 201.
- Heras, F. (2013). Una de acción: el tratamiento mediático de las soluciones al cambio climático *Razón y Palabra*, núm. 84. Universidad de los Hemisferios. Quito. Ecuador
- Hermann, W., & Bovo, V. (2005). Mapas Mentais enriquecendo inteligências: captação, seleção, organização, síntese, criação e gerenciamento de informação. *Campinas: Art Color*.
- Hernández-Tapia, N., Salinas-Ruiz, J., Saynes-Santillán, V., Ayala-Rodríguez, J. M., Hernández-Rosas, F., & Velasco-Velasco, J. (2019). emisión de N₂O, CO₂ y NH₃ a partir de estiércol de bovinos con diferente porcentaje de proteína cruda en la dieta. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(3), 597-608.
- Hernández, F. (2006). El informe PISA: una oportunidad para replantear el sentido del aprender en la escuela secundaria. *Revista de Educación*, 1, 357-379.
- Hitzfeld, B.C., Hoyer, S.J. y Dietrich, D.R. 2000. Cyanobacterial toxins: removal during water treatment, and human risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 108: 113-122.

- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22(1), 85-142, DOI: 10.1080/03057269308560022.
- Hogan, K. (1999). Sociocognitive roles in science group discourse. *International Journal of Science Education*, 21(8), 855-882.
- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (2000). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and instruction*, 17(4), 379-432.
- Hollon, R., Anderson, Ch.W., Smith, E.L. (1980). *A system for observing and analyzing elementary school science teaching: A user's manual*. Michigan: Michigan State University Press.
- Hum, G. L. (1999). Introducción al estudio de caso en educación. *Grupo L.A.C.E HUM*, 109. Universidad de Cádiz.
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha*, 303-354.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC-WGI (2007). *Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jarrett, L., & Takacs, G. (2020). Secondary students' ideas about scientific concepts underlying climate change. *Environmental Education Research*, 26(3), 400-420.
- Jeffries, H., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2001). Knowledge about the 'Greenhouse Effect': have college students improved? *Research in Science & Technological Education*, 19(2), 205-221.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Crujeiras-Pérez, B. (2012). La naturaleza de la ciencia en acción: Prácticas sociales científicas y metaconocimiento en la clase y el laboratorio. Comunicación presentada en el VII Seminario Ibérico/III Seminario Iberoamericano CTS no Ensino das Ciências. oei y aia-cts. Madrid. España.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359-370.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2007). Argumentation in science education: An overview. *Argumentation in science education*, 3(27).

- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. In *Second international handbook of science education* (pp. 1001-1015). Springer, Dordrecht.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2003). Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias. En Jiménez (coord.), Caamaño, Oñorbe, Pedrinaci, De Pro. *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M.P., Díaz de Bustamante, J. y Duschl, R.A. (1998). *Scientific culture and School culture. Epistemic and procedural components*. Comunicación en el congreso de NARST. San Diego, CA.
- Jimenez, M. P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(2), 203-216.
- Jimenez, M. P. 2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas* (Vol. 12). Graó.
- Jin, H., Mehl, C. E. y Lan, D. H. (2015). Developing an analytical framework for argumentation on energy consumption issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1132-1162. <https://doi.org/10.1002/tea.21237>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(2), 173–184.
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kania, V. I., Samsudin, A., Purwanto, A. H. A., Rasmitadila, R. R., Jernsittiparsert, K., & Nurtanto, M. (2020). Multitier of greenhouse effect (Moge) instrument development to identify middle school students' mental model in Thailand with rasch analysis,". *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29(7), 3223-3237.
- Kelly, G. (1955). Personal construct psychology. *Nueva York: Norton*.
- Kelly, G. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. In R. Duschl & R. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense Publishers.
- Kelly, G. J. (1997). Research traditions in comparative context: A philosophical challenge to radical constructivism. *Science Education*, 81(3), 355-375.
- Kelly, G. J., & Crawford, T. (1997). An ethnographic investigation of the discourse processes of school science. *Science Education*, 81(5), 533-559.

- Kelly, G. J., Crawford, T., & Green, J. (2001). Common task and uncommon knowledge: Dissenting voices in the discursive construction of physics across small laboratory groups. *Linguistics and Education*, 12(2), 135-174.
- Kelly, G. J., Druker, S., & Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: Combining performance assessments with argumentation analysis. *International journal of science education*, 20(7), 849-871.
- Keys, C. W. (1997). An investigation of the relationship between scientific reasoning, conceptual knowledge model formulation in a naturalistic setting. *International Journal of Science Education*, 19 (8), 957-970.
- Keys, C. W., & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
- Kilinc, A., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2008). Turkish Students' Ideas about Global Warming. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(2), 89-98.
- Kjellen, B. (2001). *Cambio climático. Implicaciones y consecuencias*. Conferencia del Embajador Bo Kjellen, Ministro de Medio Ambiente (Estocolmo), en el Observatorio Ambiental, Valencia 28 de septiembre de 2001.
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559-576.
- Kuhn, D. (1992). Thinking as Argument. *Harvard Educational Review*, 62, pp. 155-178.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810-824.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press.
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L., 2017. *Carbono orgánico del suelo; el potencial oculto*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma, 2017. ISBN 978-92-5-309681-7.
- Leff, E., Argueta, A., Boege, E., & Porto-Gonçalves, C. W. (2002). Más allá del desarrollo sostenible. La construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina. Leff, E. Ezcurra, E. Pisanty, I. Romero P. (Com.), *La transición hacia el desarrollo sustentable: perspectivas de América Latina y el Caribe*, 477-576.
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Lemke, J.L. (1990). *Talking Science: Language, learning and values*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Lester, B. T., Ma, L., Lee, O., & Lambert, J. (2006). Social activism in elementary science education: A science, technology, and society approach to teach global warming. *International Journal of Science Education*, 28(4), 315-339.

- Libarkin, J. C., Anderson, S. W., Beilfuss, M. y Boone, W. (2005). Qualitative analysis of college students' ideas about the Earth: Interviews and open-ended questionnaires. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 17-26.
- López, Á. B. (2000). Implicaciones didácticas de los estudios sobre las concepciones de los alumnos: las disoluciones. In *Aspectos didácticos de física y química (química)*, 9 (pp. 101-145). Instituto de Ciencias de la Educación.
- López, F. (2006). Desertificación, un riesgo ambiental global de graves consecuencias. *Cuaternario y Geomorfología*, 20(3), 61-71.
- Marshall-Gilmore, G. (2000). Ten illusions that must be dispelled before people will act on your global warming message. Climate Change Communication. Proceedings of an International Conference. Kitchener-Waterloo, Ontario, Canada, 20-24 jun. 2000
- Martínez, A. (2010). La desertificación: el otro cambio climático. *Foresta*, 49, 46-51.
- McGinn, M. y Roth W.M. (1999). Preparing Students for competent scientific practice: Implications of recent research in Science and Technology Studies. *Educational Researcher*, 28 (3), pp. 14-24.
- McGinnis, J. R., McDonald, C., Breslyn, W., & Hestness, E. (2017). Supporting the inclusion of climate change in US science education curricula by use of learning progressions. In *Teaching and learning about climate change: A framework for educators*, 135-151.
- Meira, P. (2006). Las ideas de la gente sobre el cambio climático. Ciclos. *Cuadernos de Comunicación, interpretación y educación ambiental*, 8, pp. 5-12.
- Meira, P. (2013). Problemas ambientales globales y educación ambiental: Una aproximación desde las representaciones sociales del cambio climático. *Revista Integra Educativa*, 6(3), 29-64.
- Meira, P., Arto, M., & Montero, P. (2009). La sociedad ante el cambio climático. Conocimientos, valoraciones y comportamientos en la población española. *Fundación Mapfre*, 171.
- Mendoza, L., Pacheco, O., Vento, M., Barroso, R., & Sánchez, M. (2004). La cubierta vegetal como amortiguadora de los procesos erosivos en suelos con relieve llano a ondulado II. Efecto sobre el pH del suelo. *Centro Agrícola*, 31(1-2), 5.
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, J. M. y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94-99.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- Monereo, C., Pozo, J. I., & Castelló, M. (2001). La enseñanza de estrategias de aprendizaje en el contexto escolar. *Desarrollo psicológico y educación*, 2, 235-258.
- Moreira, M.A. (1996). Modelos mentais. Investigações em ensino de ciências, 1(3), 196-232.

- Moreira, M.A. (2000). *Aprendizaje significativo: teoría y práctica*. Madrid: Aprendizaje Visor.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona: Gedisa. (Versión en español 2005).
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Barcelona: Paidós. (Versión en español 2001).
- Mortimer, E. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. *International Journal of Science Education*, 20(1), 67-82.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: McGraw-Hill Education.
- Nersessian, N. (2007). Razonamiento basado en modelos y cambio conceptual. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 563-570.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Nicolaou, C. T. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.
- Novak, J. D. (1988). Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 213-223.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching*, 27(10), 937-949.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2005). Construyendo sobre Nuevas Ideas Constructivistas y la Herramienta CmapTools para Crear un Nuevo Modelo para Educación. Extraído de <http://www.eduteka.org/pdfdir/CmapToolsNuevoModeloEducacion.pdf>
- Novak, J. D., Gowin, D. B., & Otero, J. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez roca.
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de edafología* [Fundamentals of edaphology]. San José: UNED.
- O'Loughlin, M. (1992). Rethinking science education: Beyond Piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(8), 791-820.
- Ogborn, J. (1994) The nature of modelling. In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Tompsett (Eds), *Learning with artificial worlds: Computer based modelling in the curriculum* (pp. 11-15). London: The Falmer Press.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5-24.
- Ongley, E. D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje-55). *GEMS/Water Collaborating Center Canada Center for Inland Waters*, 21-37.

- Orejuela, H. B. (2016). El carbono orgánico del suelo en el ámbito de la naturaleza y la sociedad. *Suelos Ecuatoriales*, 46(1 y 2), 89-100.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. París: OECD.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) (2019). *OECD Future of education and skills 2030. Conceptual learning framework. Learning Compass 2030*. París: OECD.
- Ortega, F. J. R., Alzate, O. E. T., & Bargalló, C. M. (2015). La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. *Educacao e pesquisa*, 41(3), 629-645
- Osborne, J. (2012). The role of argument: Learning how to learn in school science. In *Second international handbook of science education* (pp. 933-949). Springer, Dordrecht.
- Osborne, J. F. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463-466. doi.org/10.1126/science.1183944
- Osborne, R. J., & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science education*, 67(4), 489-508.
- Papaevripidou, M., Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). On defining and assessing learners' modeling competence in science teaching and learning. In *Annual Meeting of American Educational Research Association (AERA), Philadelphia, Pennsylvania, USA*.
- Pardo, J. C. (2015). *Construtivismo, construtivismos e o lugar que ocupan o suxeito e o contexto social na construción do coñecemento: unha mirada desde a posmodernidade*. Conferencia pronunciada na I Xornada de Debate Aíovai Educación. Bertamiráns, 16 de maio. INNOVACIÓN EDUCATIVA, n.º 29, 2019: pp. 27-43 43. Recuperado de <http://www.edu.aiovai.org/construtivismo-construtivismos-e-o-lugar-queocupan->
- Pardo, J.C. & García-Tobío, A. (2015). *Construtivismo, construtivismos e o lugar que ocupan o suxeito e o contexto social na construción do coñecemento: unha mirada desde a posmodernidade*. Conferencia pronunciada na I Xornada de Debate Aíovai Educación. Bertamiráns, 16 de maio. Recuperado de <http://www.edu.aiovai.org/construtivismo-construtivismos-e-o-lugar-queocupan-o-suxeito-e-o-contexto-social-na-construcion-do-conecemento-unha-mirada-desdea-posmodernidade>
- Pavón, Z. S., Esaa, A. E., Delgado, E. C., & Monagas, C. M. (2015). Un modelo de secuencia de enseñanza de la temática: mezclas. Tipos y separación de mezclas. *Diálogos educativos*, 29, 124-140.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3(7), 27-36.
- Perales, F. J. y Jiménez, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 369-386.

- Pérez-Muñuzuri, V., Fernández Cañamero, M., & Gómez Gesteira, J. L. (2009). Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia. *Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible. Xunta de Galicia. Santiago*.
- Pérez-Serrano, G. (1998). *Investigación cualitativa. Retos e interrogantes. Técnicas y análisis de datos*. Madrid: La Muralla.
- Pérez-Serrano, G. (2001). *Modelos de investigación cualitativa en educación social y animación sociocultural*. Madrid: Narcea.
- Piaget, J. (1968). *Psicología de la Inteligencia*. Buenos Aires: Proteo.
- Piaget, J. (1973). "Psicología genética." Buenos Aires: EMECÉ Editores.
- Piaget, J. (1973). *La representación del Mundo en el Niño*. Madrid: Morata.
- PNUMA. (2012). *GEO 5. Perspectivas del medio ambiente mundial*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi <https://www.cbd.int/doc/meetings/nr/rw5nr-la-01/other/rw5nr-la-01-pnuma-es.pdf>
- Pontecorvo, C., & Girardet, H. (1993). Arguing and reasoning in understanding historical topics. *Cognition and Instruction*, 11(3-4), 365-395
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., ... & Weyer, N. M. (2019). Technical summary. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf. (July 2020), 61.
- Pozo, J. A., Sanz, A., Crespo, G., & Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 083-94.
- Pozo, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 513-520.
- Pozo, J. I., & Gomez Crespo, M. A. (2005). The embodied nature of implicit theories: The consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and instruction*, 23(3), 351-387.
- Pozo, J. I., Gómez, M. A., & Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: different representations for different contexts. *New perspectives on conceptual change*, 161-174.
- Pozo, J. I., Monereo, C., & Castelló, M. (2001). El uso estratégico del conocimiento. *Psicología de la educación escolar*. Madrid: Alianza.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Pujol, R. M. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Síntesis Educación. Madrid.
- Rebich, S., & Gautier, C. (2005). Concept mapping to reveal prior knowledge and conceptual change in a mock summit course on global climate change. *Journal of geoscience education*, 53(4), 355-365.

- Resnick, L. B. (1983). Mathematics and science learning: A new conception. *Science*, 220(4596), 477-478.
- Resnick, L. B., Salmon, M., Zeitz, C. M., Wathen, S. H., & Holowchak, M. (1993). Reasoning in conversation. *Cognition and instruction*, 11(3-4), 347-364.
- Reyes-Sánchez, L. B. (2012). Enseñanza de la ciencia del suelo: estrategia y garantía de futuro. *Spanish Journal of Soil Science*, 2(1), 87-99.
- Rivière, A. (1984). La psicología de Vygotski: sobre la larga proyección de una corta biografía. *Infancia y aprendizaje*, 7(27-28), 7-86.
- Rodrigues, S., & Thompson, I. (2001). Cohesion in science lesson discourse: Clarity, relevance and sufficient information. *International Journal of Science Education*, 23(9), 929-940.
- Rodríguez Palmero, M. L., Marrero Acosta, J., & Moreira, M. A. (2001). La Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del Curso de Orientación Universitaria. *Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre*. 6,3.
- Rodríguez-Mora, F. (2017). Enseñanza de un modelo sobre disoluciones en el contexto del consumo de agua de bebida envasada. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, (Extra), 4379-4386.
- Rodríguez, E. G. (2009). *Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica de los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático*. Universidade de Santiago de Compostela.
- Rodríguez, G. J. y García E. (1996). *Metodología de la Investigación Cualitativa*. Archidona-Málaga: Aljibe.
- Rosón, G., Cabanas, J. M., Pérez, F. F., Herrera, J. L., Ruiz-Villarreal, M., Castro, C. G., ... & Álvarez-Salgado, X. A. (2009). *Evidencias do Cambio Climático na hidrografía ea dinámica das Rías e da plataforma Galega*. Xunta de Galicia.
- Ruiz Olabuénaga, J. L. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Sánchez-Castaño, J. A., Castaño-Mejía, O. Y. & Tamayo-Alzate, O. E. (2015). La argumentación metacognitiva en el aula de ciencias. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 13(2), pp. 1153-1168.
- Sánchez, G., & Valcárcel, M. V. (1999). Science teachers' views and practices in planning for teaching. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 36(4), 493-513.
- Sandín, M. P. (2003). *Investigación Cualitativa en Educación. Fundamentos y Tradiciones*. Madrid: McGraw Hill.

- Sanmartí, N. y Jorba, J. (1996). *Importancia del lenguaje en la evaluación del proceso de construcción de los conocimientos científicos*. Seminario Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Sardà, A. & Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), p. 405-422.
- Schraw, G. Crippen, K. J. & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139
- Schwarz, C. V. y White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science education*, 90(4), 605-631.
- Sesto, V. y García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de eso cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534.
- Shepardson, D. P., Choi, S., Niyogi, D., & Charusombat, U. (2011). Seventh grade students' mental models of the greenhouse effect. *Environmental Education Research*, 17(1), 1-17.
- Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2009). Seventh grade students' conceptions of global warming and climate change. *Environmental Education Research*, 15(5), 549-570.
- Shepardson, D. P., Roychoudhury, A., Hirsch, A. S., & Top, S. M. (2017). Students' Conception of a Climate System: Implications for Teaching and Learning. In *Teaching and Learning About Climate Change* (pp. 69-84). Routledge.
- Singh, S. (2016). Classroom discourse and effective learning of students. *International Journal of English, Language, Literature and Humanities*, 4(7), 1-9.
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241(2), 155-176.
- Smith, V.H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. *Environ. Sci. Pollut. R.* 10: 126-139.
- Solbes, J. (2009). Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 2-20.
- Sóñora, F. (2007). O Proxecto de educación ambiental" Climántica". *AmbientalMente sustentable: Revista científica galego-lusófona de educación ambiental*, (3), 119-140.

- Sóñora, F. (2008). Proyecto de Educación Ambiental Climántica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 45(3), 1-10.
- Sóñora, F. & Martínez, V. (2015). Do ceneam a climántica materia de libre configuración. *Boletín das ciencias*, 28(81), 47-49.
- Sóñora, F. y García-Rodeja, I. (2019). Dificultades de aprendizaxe e modelos mentais na transferencia curricular do IPCC Special Report 2019. *Boletín das ciencias*, 33(88), 39-40.
- Sóñora, F. y Lires, J. (2007): Cambia o clima. *Santiago de Compostela: Xunta de Galicia*.
- Sóñora, F., & Alonso, A. (2018). Ocean Under Global Change: From Science to School. *International Journal of Environmental and Science Education*, 13(2), 97-112
- Sóñora, F., & Fernández, J. (2007). Climaeducambio. Material multidisciplinar para ESO. *Santiago de Compostela, Xunta de Galicia*. -(2007): *Guía didáctica de Climaeducambio*. *Santiago de Compostela, Xunta de Galicia*.
- Sóñora, F., & García-Rodeja, I. (1996). Ideas dos alumnos de 2º ciclo da ESO sobre “o efecto invernadoiro”. *Boletín das Ciencias*, 28, 75-84,
- Sóñora, F., & Vinuesa, A. G. (2020). Climántica: un proyecto pedagógico-social y de educación ambiental en la lucha contra el cambio climático. *Pedagogía social: revista interuniversitaria*,
- Sóñora, F., Alonso, A. & García, A. (2019). Respuestas juveniles al cambio climático desde los campus de Climántica. *Innovación educativa*, 29, 5-26.
- Sóñora, F., Fernández, E. M., Barañano, C., Alonso, A. (2019). Investigación de Ecoloxía Escolar nunha pradaria de *Zostera nolteii*. *Innovación educativa*, 29, 27-43.
- Sóñora, F., Rodríguez, M. M., & Troitiño, R. T. (2009). Un modelo activo de educación ambiental: prácticas sobre cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2), 196-206.
- Sóñora, F. y García, A. (2020). Climántica: un proyecto pedagógico-social y de educación ambiental en la lucha contra el cambio climático. *Pedagogía Social Revista Interuniversitaria*.
- Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Ediciones Morata.
- Stenhouse, L. (1990). Conducción, análisis y presentación del estudio de casos en la investigación educacional y evaluación. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, J. *Hacia un enfoque interpretativo de la enseñanza: etnografía y currículum*. Granada: Universidad de Granada, 69-83.
- Stevens, S. Y., Delgado, C. y Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687- 715.
- Stott, P. A., Stone, D. A., & Allen, M. R. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432(7017), 610-614.

- Strickhouser, N., Roychoudhury, A., Hirsch, A. S., & Mehta, J. V. (2017). Teaching informed by conceptual difficulties with understanding the greenhouse effect. In D. P. Shepardson, A. Roychoudhury, A. S. Hirsch (Eds.), *Teaching and learning about climate change* (pp. 203-214). New York: Routledge.
- Sutton, C. (1992). *Words, Science and Learning*. Buckingham: Open University Press.
- Sutton, C. (2003) Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 21, n. 1, p. 21-25.
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2007). Thinking about systems: Student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 23(2-3), 285-311.
- Tamayo-Alzote, Ó. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista educación y pedagogía*, 18, 37-49.
- Taylor, S. J. y Bogdan, R. (2010). *Introducción a los métodos cualitativos*. Barcelona: Paidós
- Tesch, R. (2013). *Qualitative research: Analysis types and software*. Routledge.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Toulmin, S. (1977). *La racionalidad humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.
- Toulmin, S. (2007). *Los usos de la argumentación* (Trad. de María Morrás y Victoria Pineda). Barcelona: Península.
- Townsend, T. (2011). Thinking and acting both locally and globally: new issues for teacher education. *Journal of Education for Teaching*, 37(2), 121-137.
- Treagust, D. F. y Harrison, A. G. (2000). In search of explanatory frameworks: An analysis of Richard Feynman's lecture 'Atoms in motion'. *International Journal of Science Education*, 22(11), 1157-1170.
- UNEP-WMO. (2001). *Climate change: impacts, adaptation and vulnerability*. United Nations Environment Programme-World Meteorological Organization, New York,
- Van Dijk, T. A. (2012). *Discurso y contexto*. Editorial Gedisa.
- Varela, B., Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2020). An investigation of secondary students' mental models of climate change and the greenhouse effect. *Research in Science Education*, 50(2), 599-624.
- Vasilachis de Gialdino, I. V. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Editorial Gedisa.
- Velentzas, A. y Halkia, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049.

- Vigotsky, L.S. (1987). *Historia del desarrollo de las funciones psíquicas superiores*. La Habana, Editorial Científico-Técnica.
- Walton, D. (1989). *Informal Logic. A Handbook for critical argumentation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wegerif, R., & Mercer, N. (1997). A dialogical framework for researching peer talk. *Language and Education Library*, 12, 49-64.
- Wells, G. (2001). *Indagación dialógica: hacia una teoría y una práctica sociocultural de la educación*. Barcelona: Paidós.
- Yin, R. K. (1992). The case study method as a tool for doing evaluation. *Current sociology*, 40(1), 121-137.
- Yun, S. M., & Kim, H. B. (2015). Changes in students' participation and small group norms in scientific argumentation. *Research in Science Education*, 45(3), 465-484.
- Yus, R. y Rebollo, M. (1993). Aproximación a los problemas de aprendizaje de la estructura y formación del suelo en el alumnado de 12 a 17 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 265-280.
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering Students' Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, pp. 35-62.

ANEXOS

ANEXO I: Unidade didáctica ‘Dez mil anos nun centímetro’

(autores: Francisco Sónora Luna e Manuel P. Brañas Pérez).

Guión

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- OBXECTIVOS DE ENSINANZA APRENDIZAXE	3
3.- CONTIDOS E MAPA CONCEPTUAL	3
3.1 Secuencia de contidos conceptuais, procedimentais e actitudinais	3
3.2 Mapa conceptual	4
4.- ACTIVIDADES	4
4.1 Iniciais e de exploración de ideas previas	4
4.2 De reestructuración	7
4.3 De síntese e aplicación	24
5.- PROCEDEMENTOS E INSTRUMENTOS DE AVALIACIÓN	27
5.1 Probas escritas	27
5.2 Ficha de control da observación directa na aula e no laboratorio	28
5.3 Ficha de rexistro de anécdotas con datos significativos	28

1.- INTRODUCCIÓN

A edafoloxía é unha é un ámbito de coñecemento moi interdisciplinaria xa que se desenvolveu a partires da aplicación de coñecementos da bioloxía, da xeoloxía da física e da química, que son as catro disciplinas que configuran a área *ciencias da natureza*. Esta dimensión interdisciplinaria condicionou a secuenciación da unidade ó remate do curso de Ciencias da Terra e Ambientais, para afianzar máis a dimensión interdisciplinaria da materia,

aplicando coñecementos adquiridos ao longo dos xeosistemas presentes nesta interfase: xeosfera, biosfera, atmosfera e hidrosfera.

Para a selección de obxectivos e contidos, trívose en conta o curriculum prescriptivo desta materia establecido en el Decreto 126/2008 (DOG 23 de xuño):

- O solo como interfase. Composición, estrutura e textura.
- Os procesos edáficos. Tipos de solos.
- Trazos xerais dos solos de Galicia.
- Recoñecemento experimental dos horizontes do solo.
- Solo, agricultura e alimentación.
- Erosión, contaminación e degradación de solos.
- Desertización. Valoración da importancia do solo e os problemas asociados á desertización.

O enfoque que se seleccionou para recoller estes referentes conceptuais do currículo oficial, leva a considerar o solo como un recurso natural non renovable, e por tanto hai que contemplar as consecuencias dos usos do solo que poden facer que perdamos tal recurso, e as estratexias de restauración cando aínda sexan posibles. Por eso é necesario coñecer como se desenvolve o solo, o que leva a comprender os compoñentes o perfil e as propiedades.

En canto ao enfoque metodolóxico, búscase que os alumnos se sintan “científicos” á hora de construír o seu propio coñecemento. Por tanto séguese o método científico, entendendo este como a forma de proceder na didáctica das ciencias no que as clases se organizan baixo unha óptica de indagación que leva a enunciación de problemas, a buscar explicacións, a deseñar experimentos, a elaborar informes cos resultados e conclusións, etc.

Existen distintas investigacións didácticas sobre os problemas de aprendizaxe en relación os contidos sobre o solo que trata esta unidade didáctica. En canto a estrutura e composición destácanse os feitos por Happs (1982) e por Yus e Rebollo (1993).

A primeira dificultade que destacan está no propio concepto de solo, xa que este nome se asocia a superficie que se pisa, e practicamente en ningún caso se describe o solo como un produto da interacción entre organismos vivos e inertes.

En canto a composición do solo, un amplo porcentaxe non asocia ós seres vivos coa composición do solo, e nos casos que se teñen en conta non aparecen os microorganismos como compoñentes bióticos.

Con respecto á estrutura, compróbase que o concepto de “horizonte” tende a confundirse con “estrato”, dentro dun marco conceptual de edafoxénese próximo a sedimentación, e por tanto para explicar a orde de formación dos horizontes téndese a usar o principio de superposición de estratos.

No aspecto da profundidade, a maioría vese influenciada pola concepción vulgar do solo como superficie que se pisa, aínda que tamén aparecen visións demasiado grandes da profundidade do solo, aparecendo a noción de que toda a Terra está feita de solo, o que evidencia confusións entre estrutura do solo e estrutura de Terra. En canto a idade do solo, en xeral considérase moi antigo, tanto como a terra, e nos casos en que se pensa que é menos

antigo sole xustificarse pola necesidade que pase tempo suficiente para que se produzan erosión, transporte e sedimentación.

Por tanto, considérase que o solo se orixina por un proceso alóctono ou equivalente á sedimentación. Isto ponse tamén de manifesto nos factores de formación, entre os que se destacan a pendente e clima que facilitan a acción dos procesos xeolóxicos externos, e outros máis curiosos pero que seguen afondando nesta idea como o uso de esterco na agricultura. En definitiva a maioría considera que o solo fórmase por acumulación de terra sobre unha rocha inalterable.

En canto a valoración do solo como un recurso non renovable, nunha investigación de Brañas e Jimenez (1996) na que se estudiou, entre outros aspectos, a importancia que os alumnos de secundaria dan a erosión dos solos, observouse que só a metade dos alumnos recoñece a erosión do solo é un problema importante, e ademais unha porcentaxe significativa non está de acordo en prohibir a edificación en terras de labor, medida establecida noutros países do noso entorno. Nisto se apoia o enfoque da unidade, xa que a perda de solo, a contaminación e mala xestión do solo son graves problemas ambientais ós que se enfronta a humanidade, e que as novas xeracións terán que afrontar.

Todas estas dificultades hai que telas moi en conta no desenvolvemento da unidade para poder acadar os obxectivos propostos nun grao óptimo.

2.- OBXECTIVOS DE ENSINANZA APRENDIZAXE

Esta unidade pretende desenvolver as seguintes capacidades:

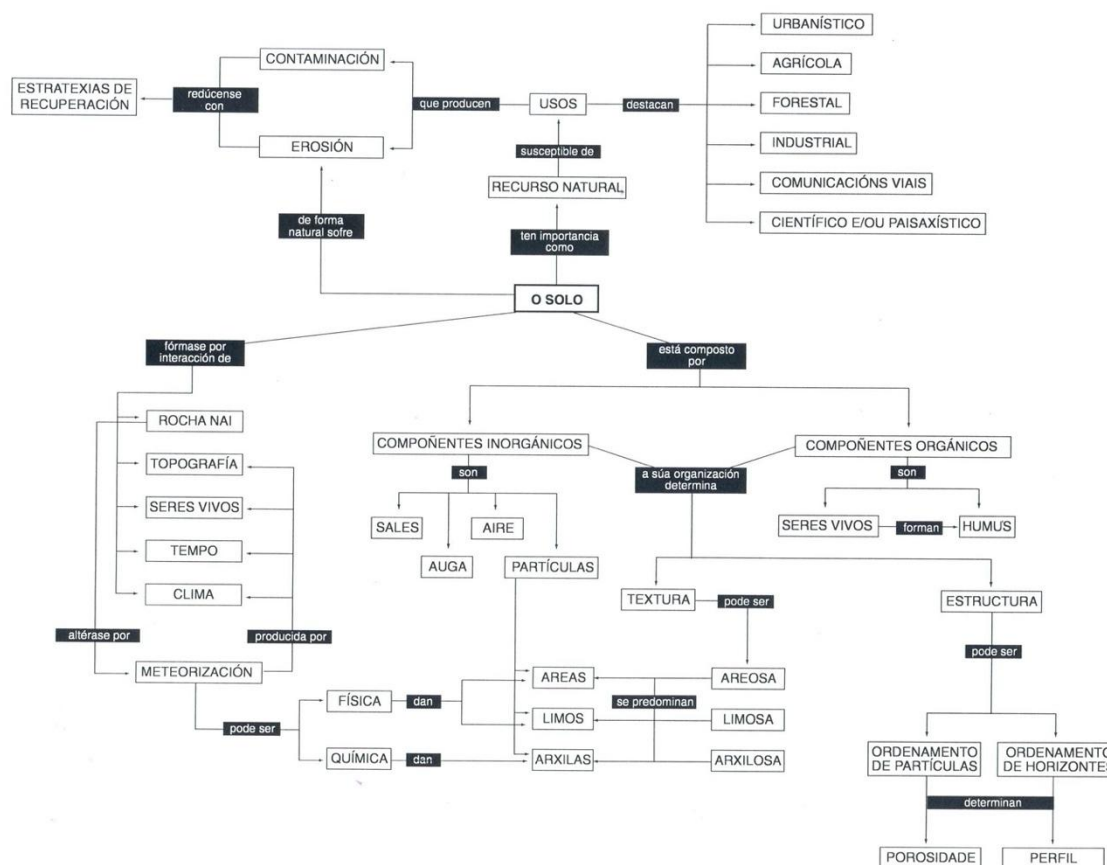
- Recoñecer os factores implicados na formación do solo.
- Identificar os principais compoñentes do solo.
- Utilizar técnicas sinxelas de separación de compoñentes do solo.
- Analizar a composición de mostras de diferentes solos.
- Describir os principais usos do solo.
- Valorar a importancia do solo como recurso natural.
- Recoñecer os efectos que os usos do solo teñen sobre o mesmo ó longo do tempo.
- Avaliar as condicións naturais dun solo cara a toma de decisións do uso racional do mesmo.
- Identificar estratexias sinxelas de recuperación e conservación dos solos.

3. CONTIDOS DE APRENDIZAXE

3.1 *Secuencia de contidos conceptuais, procedimentais e actitudinais*

CONCEPTUAIS	PROCEDIMENTAIS	ACTITUDINAIS
• Formación e desenvolvemento do solo • Compoñentes do solo • Perfil e horizontes • Propiedades do solo • O solo como recurso natural: usos do solo • Consecuencias dos usos do solo: erosión e contaminación • Estratexias de restauración do solo	• Observación sistemática • Rexistro de datos • Análise de datos • Control de variables • Uso de argumentos para chegar a conclusións • Deseño de experiencias • Recollida sistemática de mostras • Técnicas para o deseño experimental • Construción de modelos explicativos	• Valoración do solo como recurso • Crítica ós usos irracionais do solo • Participación na busca de estratexias de restauración • Aceptación de opinións distintas • Actitude de cambio de opinión diante de evidencias • Valoración da argumentación na busca de conclusións e explicacións

3.2 Mapa conceptual da unidade:



4. ACTIVIDADES

4.1 Actividades iniciais de presentación do problema auténtico e de exploración de ideas previas

1. Acaba de chegarnos unha carta por correo electrónico que asina a Sra. Concelleira de Ordenación do Territorio, D^a Soledad Edáfica Húmica. Como ides a ver, dinos que se acaba de aprobar unha lei do Solo que obriga aos promotores a ceder ao Concello un 10% do solo no que van a edificar. Co que lle ceden queren facer un hospital grande, que cubra as necesidades de atención sanitaria de todo territorio, un campo de fútbol e unha parcela de prácticas para escola de xardinería. Como ides a ver coa lectura colectiva que imos a facer do escrito, temos a oportunidade de darlles unha asesoría que pode ser moi importante para o futuro do pobo, porque coa decisión que van a tomar deixarán espazos de tanta relevancia como un gran hospital. Para que esa decisión sexa a mellor teremos que traballar de arreo para saber e entender sobre o solo, que é o recurso non renovable clave que se vai a ver afectado de xeito permanente con cada uso. Pero a satisfacción futura que nos pode deixar ter axudado a tomar unha decisión tan relevante para o noso pobo, seguro que nos vai a recompensar o esforzo. Procedamos entón a ler e atender (lectura do texto da páxina seguinte).

CONCELLERÍA DE ORDENACIÓN DO TERRITORIO

*Ref. Solicitud de informe sobre o uso racional das tres parcelas de solo cedidas
ó Concello este ano.*

A atención dos Estudantes de 3º A

Estimados estudantes:

Como xa é posible que coñezan na lei sobre o uso do solo os promotores deben ceder aos concellos unha porcentaxe da superficie de solo que van a utilizar para construír, e esta porcentaxe é do orde do 10%.

O solo que se cedeu pola aplicación desta lei no noso concello durante este ano, concentrouse en tres parcelas de terreo A, B e C; as cales se someteron a unha análise previa para a obtención do uso máis idóneo, tendo en conta que necesitamos facer un campo de fútbol, un xardín botánico para a escola profesional municipal de xardinería e un edificio de usos administrativos.

Para facer as análises contratamos un equipo de edafólogos, que determinaron nas tres parcelas diversos factores como: espesor, pendente, pedregosidade, capacidade de retención, acidez, perfil, humus, calcaria, nitratos e drenaxe.

Agora necesitaríamos contratar un equipo interdisciplinar formado como mínimo por un arquitecto, un botánico, un enxeñeiro agrónomo, un xardineiro. Estes profesionais, mediante un traballo en equipo, expoñerían os aspectos máis importantes a ter en conta dende a visión do seu ámbito de coñecemento, e con un debate no que se discutirían, razoarían, argumentarían, e defenderían os distintos criterios, entre os que sen dúbida destacarían os edafolóxicos e os de ordenación do territorio. Deste xeito chegarían a unha decisión consensuada na que terían cabida múltiples puntos de vista, e que por tanto aportaría un gran racionalidade e eficacia a decisión.

Debido ó baixo presuposto desta concellaría para o que resta de ano, resúltanos moi difícil a contratación do devandito equipo asesor. Para solucionar este problema, ocórrasenos pedirlle informes a colectivos con unha boa disposición para aprender e con experiencia en tarefas de equipo deste tipo. Por tanto, o colectivo de alumnos de ensinanza secundaria do noso concello pode resultarnos moi útil para asesorarnos.

Por esta razón, solicitamos do seu grupo un informe razoado que nos poda dar ideas que faciliten unha xestión racional e axeitada das tres parcelas, elixindo a máis axeitada para cada uso. Sen dúbida valoraríamos moito este traballo, pois somos conscientes de que terían que dedicar varias sesións da clase a buscar información, razoar, discutir e chegar a un acordo consensual sobre o tema.

Agradecéndolle o seu esforzo, reciban un cordial saúdo.

A concelleira de Ordenación do Territorio

Soledad Edáfica Húmica.

2. Fai unha lista dos termos que non entendas deixando un espazo que só cubrirás cando logres entender ese concepto. Cada día revisa esa lista e se atopas algún que agora pases a entender, procede a anotar o seu significado.
3. Fai unha lista dos termos que non entendas deixando un espazo que só cubrirás cando logres entender ese concepto. Cada día revisa esa lista e si atopas algún que agora pases a entender, procede a anotar o seu significado.
4. Expresa coas túas palabras o que nos piden na carta e describe o que pensas que debemos facer para darlle unha resposta eficaz
5. Lee o texto e contesta ás actividades relativas a el:

Na literatura británica encontramos algunhas curiosas alusións ó coñecemento do solo. Na novela *Estudio en escarlata* (1887), sir Arthur Conan Doyle, falando por boca do doutor Watson, enuméranos algunhas das habelencias de Sherlock Holmes. Entre estas, podemos ler:

Coñecementos de xeoloxía: prácticos pero limitados. Dunha simple ollada pode distinguir un tipo de solo doutro. Ás veces, ó regresar dunha camiñata ensinábame as salpicaduras de lama e barro que manchaban os seus pantalóns e, baseándose na súa cor e textura, puido dicirme exactamente a zona de Londres na que os recibira.

Bastante máis antigo é estoutro texto tamén relacionado cos chans:

Se o solo non fose heteroxéneo e desigual en humidade, en toda a terra medraría a mesma especie de planta [...]. Os signos da presenza de auga nos terreos [...] son que alí crecen os xuncos, as vimbieiras, o ameneiro..., a hedra e outras plantas que non se poden desenvolver sen lentura.

6. ¿Se ti vises a unha persoa sospeitosa dun roubo nunha fábrica situada nun terreo de braña e os seus zapatos desprendesen grande cantidade de area pouco compactada, aumentarían ou diminuirían as túas sospeitas?. Razoa por qué.

R. Nunha braña abunda a lama que é terra moi compactada, polo que se os zapatos do sospeitoso desprenden area pouco compacta as sospeitas diminúen.

7. Indica o principal uso que se ven facendo historicamente do solo e como incide no mesmo o desenvolvemento científico e tecnolóxico.

R. O principal uso é o agrícola, para obter recursos alimenticios para as persoas e animais. Aparece asociado á forma de vida sedentaria e vaise ver influído polos avances tecnolóxicos. En principio facíase de forma manual con ferramentas. Logo, unha vez obtida a técnica de domesticación de animais, ideouse o arado de pao para labrar; este evolucionou cara unha maior eficacia cando se empezou a facer de ferro. Na actualidade mecanizáronse todas as tarefas agrícolas arredor do tractor, e agricultura independizouse da gandeira. Nestas últimas décadas o abono orgánico tendeu a substituírse polo abono inorgánico, e apareceu tamén o uso de insecticidas e pesticidas.

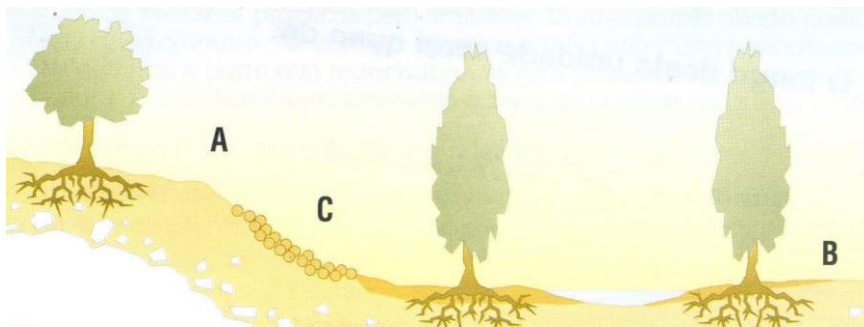
8. ¿Cres que os cultivos favorecen ou prexudican ós solos?. Razóao

R. A maioría dos alumnos creen que a agricultura facilita a favorece a formación, considerando que a intervención humana ten un papel importante na conservación e NA evolución do mesmo.

9. Existe solo nos lugares que non son aptos para o cultivo? Razoa a túa resposta.

R. É moi posible que existan alumnos que consideran que só hai solo nos lugares aptos para o cultivo, nestes casos hai que buscar o cambio nestas ideas alternativas.

10. Supoñamos que na seguinte sección de terreo aínda non se formou solo. Razoa en qué lugar ou lugares (A, B, C) é máis fácil que se desenvolva.



R. Aínda que no debuxo represéntase unha situación anómala (hai árbores e sin embargo pídese que se supoña que aínda non se formou solo), preténdese detectar a idea que os alumnos tenden a considerar a orixe do solo como un proceso alóctono, próximo a sedimentación. Esta visión do solo como un proceso de acarrexar vai levar a maioría dos alumnos a elixir a chaira fluvial (B). Os que elixan a opción (A) probablemente o fagan pensando nos procesos mecánicos de demolición da rocha.

11. Ordena as viñetas da figura tendo en conta o seguinte: corresponden a distintos momentos da formación dun solo e un mesmo punto do terreo, coa mesma profundidade e con distintas fraccións de solo e rocha. Xustifica a orde establecida.



R. Van aparecer moitas respostas que de novo confirman a concepción dunha orixe esóxena do solo, unido a unha concepción estática das rochas.

12. Canto tempo cres que hai que se formaron os solos que ves na actualidade?

R. É probable que existan confusións e erros nestas ideas previas debido ás dificultades psicoevolutivas no desenvolvemento da noción do tempo histórico/xeolóxico. Pode aparecer idades tan antigas como a da Terra, que probablemente denoten unha visión estaticista e creacionista que fai considerar que o solo é a superficie que se pisa e que existe desde a creación.

13. Onde cres que se formará antes un solo: no deserto de Almería, no val do Ulla ou nunha selva amazónica? Ordena e explica as razóns.

R. O obxectivo desta actividade é sondar que tipo de clima se considera máis beneficioso para a formación do solo. Aínda que moitos escollerán o clima chuvioso e quente (selva amazónica), case sempre o relacionarán coa nutrición vexetal e raramente o farán co desenvolvemento do solo propiamente dito. Tamén entre as explicacións que se poden utilizar para defender esta postura pode aparecer o papel erosivo da auga da choiva ou das altas temperaturas en climas áridos na desertización e perda de solos.

14. Fíxate na fotografía. Debúxaa no teu caderno, sinalando con trazos as diferentes capas que distingas e coloreando axeitadamente as zonas entre liñas. A continuación enumera as distintas capas de máis antiga á máis recente. Observa o contraste entre a banda moura e a arroibada. ¿Poderías tratar de dar unha explicación a estas observacións?

R. A fotografía da figura 7.7 correspóndese con un solo desenvolvido sobre calizas eocenas en Asturias (La Maruca). A parte superior, de cor case negra é o horizonte A, no que ten lugar o enraizamento da maior parte da vexetación e que contén unha cantidade grande de humus orgánico. Neste horizonte ten lugar o lavado e arrastre de sustancias en disolución cara niveis inferiores. A franxa de cor arroibada situada por debaixo é o horizonte B, constituído en gran parte por arxilas e hidróxidos de ferro, de ahí a súa cor, procedentes do arrastre dende o horizonte superior. A zona branca que ahí máis abaixo é o horizonte C, de rocha parcialmente alterada, que pasa gradualmente, cara abaixo, á rocha sen alterar.



Figura 7.7

3.2 Actividades de reestructuración

15. Lee e analiza o texto para responder as actividades 12, 13 e 14



Figura 7.14

3 ¿Como se forma o solo?

O solo está formado por materiais acumulados en certos lugares da superficie terrestre debido á acción dos axentes xeolóxicos externos sobre as rochas que conforman o terreo, as cales resultan alteradas polos citados axentes. Os produtos resultantes da alteración poden, na meirande parte das veces, quedar depositados *in situ* sobre a rocha que os orixinou (*rocha nai*) ou ben seren transportados ata lugares máis ou menos afastados onde sedimentan. En calquera caso é un lento proceso que dura normalmente milleiros de anos, entre varios centos de anos e varios centos de miles, segundo os solos e o clima.

A alteración da rocha nai prodúcese pola acción de diferentes procesos que actúan simultaneamente de tres maneiras distintas: unha, esfarelando e desfecendo a rocha sen alterar os minerais que a compoñen. Isto débese á acción dos axentes xeolóxicos como, por exemplo, as sucesivas dilatacións e contraccións dos minerais constituintes das rochas, debidas ós cambios de temperatura (día-noite), ou ó efecto da cuña de xeo que se forma nas fendas das rochas (*meteorización física*).

Outra maneira diferente supón a alteración da composición química dos minerais que compoñen as rochas, os cales reaccionan cos compoñentes da atmosfera e da auga de chuvía que os empapa (*meteorización química*).

En Galicia, unha das rochas máis abundosas, xunto cos xistos, é o granito. A pesar de que esta rocha ofrece unha grande resistencia á alteración, pode co tempo chegar a esfarelarse desprendéndose os grans de cuarzo, ortosa e mica en forma de areas. A superficie das areas de ortosa e mica, ó quedaren máis expostas á acción da atmosfera, que contén dióxido de carbono, vapor de auga e osíxeno, van sufrir unha transformación química: a ortosa convértese en caolín, po branco, e a mica, que contén ferro, en óxidos de ferro. O conxunto do caolín e mais os óxidos de ferro constitúen as arxilas.

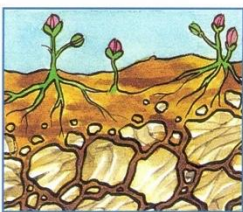


Figura 7.15



Figura 7.16

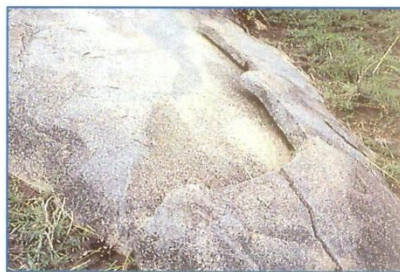


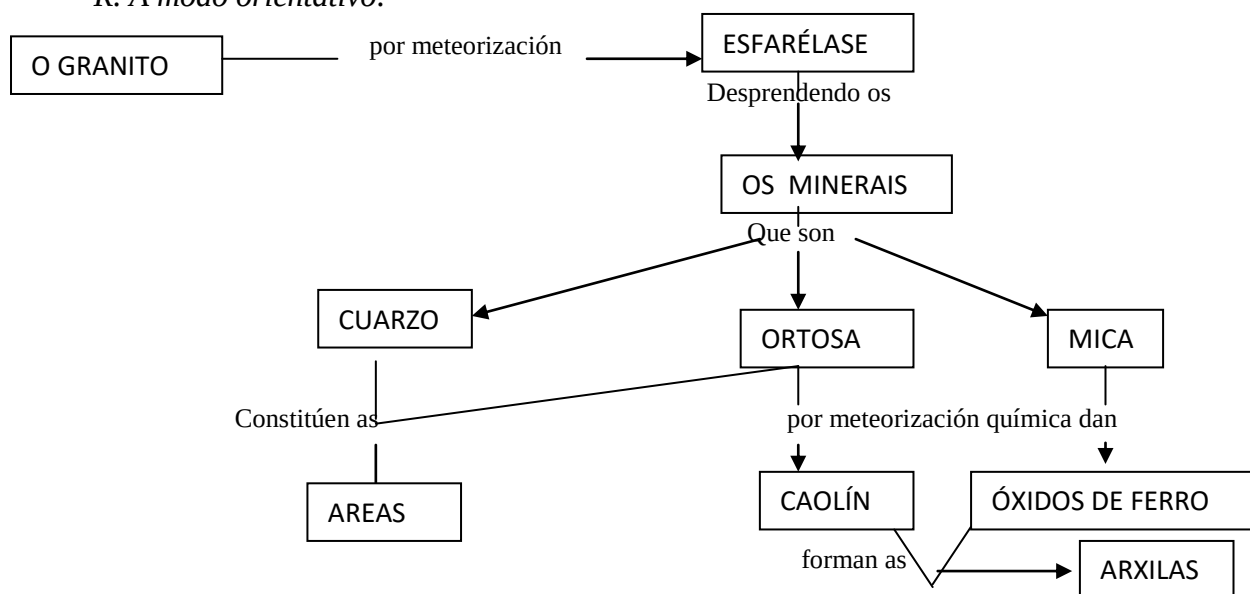
Figura 7.17. Descamación de granito en "capas de cebola" por meteorización química.

16. Nunha zona de clima continental (diferencias grandes de temperatura día-noite e verán-inverno) existe unha superficie rochosa carbonatada, cuberta dunha capa de solo e encharcada gran parte do ano. ¿Que factores influirán na formación do solo nestas condicións climáticas?

R. As grandes diferencias de temperatura van a favorecer os procesos de meteorización física, pero tamén se producirán procesos de meteorización química, sobre todo nas épocas de desxeo, no que a auga líquida dissolve os carbonatos e o proceso vese favorecido polo aumento de temperatura.

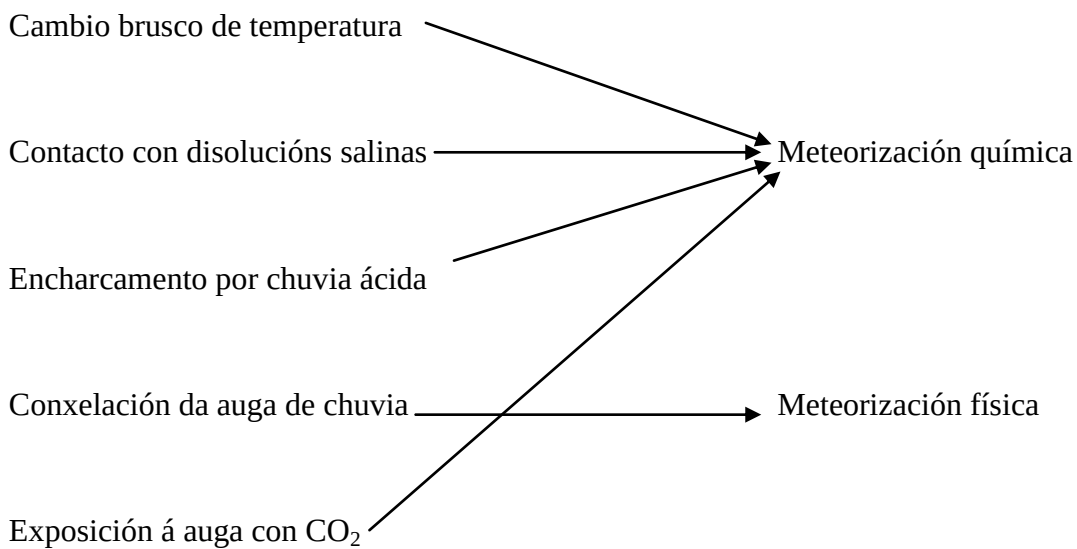
17. Fai no teu caderno un esquema da formación dos dous compoñente (arxila e area) dos solos de orixe granítica a partir da rocha nai.

R. A modo orientativo:



18. Une cada acción co tipo de meteorización que orixina:

R.



19. Lee o texto e analiza o seu contido para responder ás actividades 16, 17 e 18

Os seres vivos tamén forman solo

Unha terceira maneira de alterarse a rocha é producida polos seres vivos (*acción biótica*). Os materiais meteorizados van sendo colonizados por formas de vida moi simples, como as bacterias e algas, despois por fungos e protozoos, logo por liques e brións e, máis tarde, por plantas superiores. As raíces das plantas respiran desprendendo $\text{CO}_{2(g)}$ que se dissolve na auga de chuva continuando a alteración da rocha. Vese así que as plantas que medran como consecuencia da desfeita da rocha van contribuír coa súa acción á devandita transformación. Este feito é moi importante, pois vai reflectir a acción mutua ou interacción que existe entre a vexetación e o solo. Ó mesmo tempo, os restos das plantas que caen ó chan son atacadas polos microorganismos que nel existen (fungos, bacterias, etc.) e vanos transformando a modio nun material orgánico de cor escura chamado *humus*.



Figura 7.19. Algas microscópicas do solo.

Por outra banda, no chan existen tamén organismos animais (crustáceos, miriápodos, moluscos, anélidos como as miñocas, etc.) que, xunto cos fungos e bacterias e mais os vexetais, constitúen a comunidade biótica do chan, polo que este pode ser considerado coma un verdadeiro ecosistema. En relación con este punto débese poñer de manifesto a presenza dunha fauna —que non por descoñecida, pois adoita pasar desapercibida, é menos importante— residente habitual de calquera ambiente edáfico ✕: a *fauna edáfica intersticial*, que é o conxunto de animais que desenvolven a súa actividade no solo sen alterar a posición das partículas minerais integrantes do mesmo. En realidade trátase dunha fauna que, encadrándose como terrestre, non perdeu a súa independencia do medio acuoso, estando asociada á película de auga que arrodea as partículas de chan. Esta fauna está formada por metazoos, o tamaño dos cales vai dende 0,1 a 2 mm, visibles coa lupa e pertencentes a distintos tipos zoolóxicos como nemátodos e rotíferos. A presenza de diversas formas soe estar asociada a unhas condicións propias, constatándose sensibles diferenzas en función dos biotopos estudados, o que permite tipificar cada determinado biotopo. Por outra banda, o seguimento da evolución das poboacións permite facer estudos de impacto ambiental, na medida en que calquera modificación do medio vai afectar á biocenose.

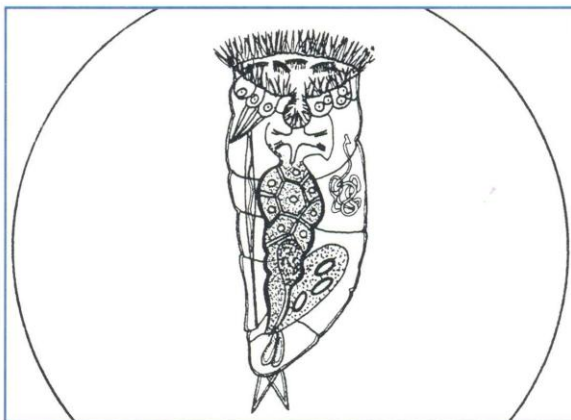


Figura 7.20. Protozoo do solo, visto ó microscopio.

Neste ecosistema, por último, tamén teñen asento os descompoñedores. Así, a multitude de microorganismos que nel viven atacan ós restos vexetais, en especial á celulosa, e, xa que logo, contribúen á súa evolución e fertilidade.

20. Explica as razóns polas que os solos abonados con esterco son máis mouro que os abonados con fertilizantes inorgánicos.

R. O esterco é un conxunto de restos de vexetais con unha biota (fungos, bacterias..) moi rica, que xunto á propia do solo producen a transformación de dito esterco en compostos húmicos que lle dan cor negra o solo.

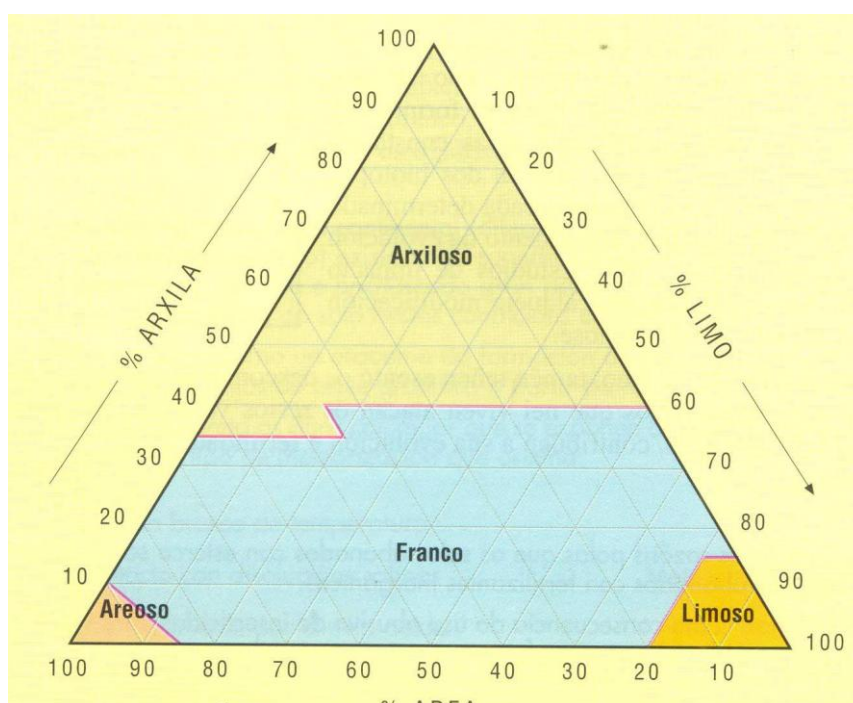
21. Un chan como consecuencia do uso abusivo de insecticidas perde fertilidade. Busca explicacións a este feito.

R. Os insecticidas destrúen a biota do solo polo que interrompen o proceso de humificación, perdéndose deste xeito fertilidade.

22. De onde proveñen os materiais que forman o solo? Atópanse sempre enriba do material que os orixinou?

R. Os materiais que forman o solo poden ser de orixe autóctono por meteorización da rocha nai, e nesta caso atópanse enriba do material que os orixinou; ou ben poden ser de orixe alóctono e chegaren por procesos de erosión, transporte e sedimentación, co cal non se atopan enriba do material que os orixinou.

23. Os solos con moita area facilitan a entrada e circulación de aire e auga, pero pola mesma razón, retén pouco a auga coas sales minerais, que se filtran moi rápido cara as capas do subsoló. As arxilas e limos presentan as características contrarias. Por iso os solos francos son os máis fértiles, ao ter un 40% de area, un 20% de arxila e un 40% de limos. Para a comprobación da aproximación a este tipo de solos idóneos, usanse un triángulo como o da figura.



En cada eixo mídese a porcentaxe de cada fracción e trázase paralela á liña cero desa fracción. Dese xeito as tres liñas córtanse nun punto que nos indica a clase de solo en relación á textura e pódese así comparar a súa aproximación ás condicións do solo franco

Aplica este procedemento para comparar a fertilidade de tres solos dos que se recolleron mostras cuxas datos de texturas se expoñen na táboa.

	Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3
% Area	60	29	90
% Arxila	33	70	7

R. A mostra máis equilibrada é a nº 1, xa que a nº 2 ten unha porcentaxe de arxila demasiado alta e a nº 3 é moi areosa. A mostra 1 queda incluída na parte central da

rexión correspondente os solos francos (os idóneos, desde o punto de vista da textura, para a agricultura). A mostra 2 tamén cae na rexión correspondente ós solos francos para moi cerca da rexión limosa. Mentres que a mostra 3 coincide na rexión arxilosa, polo que non é idónea para a agricultura.

24. Anota os datos completando a táboa

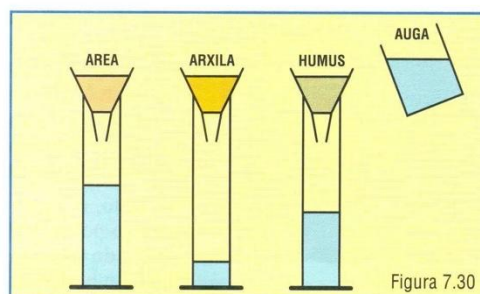
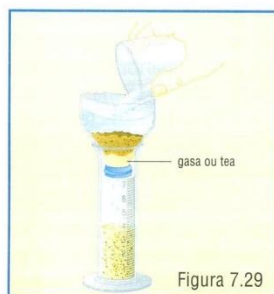
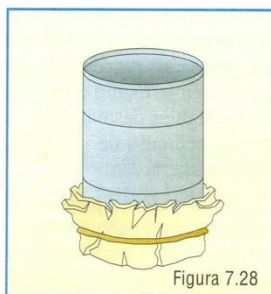
	ARXILA	HUMUS	AREA
Vol. auga filtrada			
Vol. auga retida			
% auga retida			
Cambios cor			



Capacidade de retención de auga

Material: Tres probetas graduadas, tres funís de vidro, tres latas cilíndricas (de refrescos, etc.) ás que se teña retirado as bases, area, arxila, terra vexetal, auga.

Enche unha lata con area, outra con arxila e outra con humus (terra vexetal) e introduceas en senllos funís. Fai pasar por elas 1/2 litro de auga que se recolle en cadansúa probeta graduada. Mídeala e calcula a auga retida (**capacidade de retención de auga dun solo**) por cada mostra ó cabo dun tempo igual para as tres.



25. Cos datos da táboa explica as diferencias nas capacidades de retención das tres mostras. ¿Existe algunha relación entre as distintas cores da auga filtrada e a capacidade de retención?. Xustifica a resposta, comparando a do humus coa da arxila.

R. A arxila é moi pouco porosa, por tanto retén moito porcentaxe de auga, mentres que area ten unha capacidade de retención moi baixa pola razón contraria, mentres que o humus presenta valores intermedios. As cores da auga débense ó arrastre de sustancias das mostras que van disoltas ou en suspensión; e por tanto canto máis tempo estee en contacto a auga coa mostra (maior capacidade de retención) maior vai a ser a súa capacidade de arrastre e a intensidade da cor.

26. Moitos solos de Galicia son graníticos e, polo tanto, teñen grande cantidade de area. Se non se trata de solos de regadío, no verán atópanse secos. Explica por qué ocorre isto.

R. A fracción areosa deste tipo de solo representa unha porcentaxe moi elevada, polo que existen un número de ocos moi grande, permitindo a circulación de auga moi rápida cara as capas inferiores e por tanto este tipo de solo non retén a auga que fai que se seque no verán.

27. Outro tipo de solos frecuente en Galicia son os arxilosos. Estes no inverno están encharcados e no verán, secos, presentando ás veces fendas na superficie que poden chegar a ser bastante profundas. Ademais, obsérvase que as raíces das plantas lles custa desenvolverse despois da súa plantación. Busca unha explicación a estes feitos.

R. Nos solos arxilosos predominan as partículas de menor tamaño (limos e arxilas), entre as cales apenas quedan ocos, por iso o aire e a auga circulan con lentitude. No inverno a auga filtrase con dificultade cara as capas inferiores polo que os solos enchárcanse. Cando chega o calor a auga retida evapórase producíndose contraccións no terreo que teñen como consecuencia a formación de fendas. Este tipo de solo é tan compacto que as raíces das plantas tardan máis tempo do normal en medrar xa que as novas raíces teñen dificultade para desenvolverse.

28. Busca solucións para mellorar as mostras con textura menos idóneas.

R. A mostra menos idónea para a agricultura é a nº 3, e para melloralas unha posible solución consiste en engadir lodos e arxilas e mezclar todo, para aumentar así a proporción da fracción arxilosa.

29. Lee o texto relativo á estrutura dos solos, analiza o seu contido para proceder a responder ás actividades 26, 27, 28 e 29

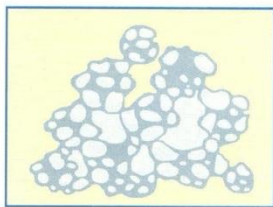


Figura 7.25

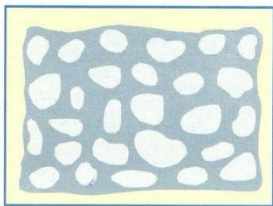
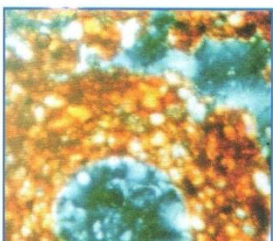


Figura 7.26

✗ $1\mu\text{m} = 1 \text{ micrometro} = \text{millonésima parte do metro } (10^{-6} \text{ m}) \text{ ou milésima parte dun milímetro } (10^{-3} \text{ mm})$.



5 ¿Como están colocadas as partículas no solo?

Para contestar a esta pregunta é preciso empregar o microscopio e utilizar técnicas especiais de preparación das que non podemos dispoñer no noso laboratorio. Se dispuxesemos, decatariámonos de que no chan existe unha organización interna (*estructura*) orixinada pola disposición ordenada que adoptan no espazo as partículas sólidas do solo. Isto é debido a que, en xeral, existen no chan unhas partículas máis grandes (*esqueleto*), do tamaño de areas, e outras de menor tamaño (*materiais movibles*). Pero a estrutura non depende só da proporción entre areas, limos e arxilas, senón tamén doutros factores como a presenza de compostos derivados do humus, substancias simples (como Fe, Al, Ca, Mg, etc.) e fauna do solo, especialmente as miñocas, as dexeccións das cales constitúen por si mesmas pequenos agregados de terra de forma esférica característica.

As partículas están dispostas de diferentes formas dando lugar a variados tipos de estruturas entre os que destaca a que forma coma pontes que enlazan partículas do esqueleto (figura 7.25).

Esta disposición espacial das areas, arxilas e limos no solo é importante por ser a causa de que exista no seu interior un amplo oco. E así, canto máis estruturado estea un chan, máis espazo poroso presentará. Se, pola contra, os materiais se dispuxesen empacados, o devandito espazo sería moito menor e o solo carecería de estrutura, coas partículas elementais independentes (figura 7.26).

A existencia deste espazo poroso orixina diferentes propiedades: a) o aire pode circular no solo permitindo reaccións de alteración e, polo tanto, formación de chan e ademais facilita a respiración e o desenvolvemento das raíces das plantas; b) o solo pode reter grande cantidade de auga, permitindo a súa libre circulación e c) facilítase a mobilidade das arxilas e limos que só circulan a través dos ocos. En xeral, os ocos de tamaño medio (entre $3\text{-}10\mu\text{m}$ ✗) son os que teñen un maior interese desde o punto de vista da alimentación das plantas, xa que nos macroocos ($>30\mu\text{m}$) a auga circula moi rapidamente sometida á acción da gravidade e nos microocos ($<0,2\mu\text{m}$) a auga está fortemente adherida á superficie das partículas.

Os macroporos facilitan a mobilidade do aire e das disolucións acuosas (auga e sales minerais, que proveñen tanto da meteorización da rocha nai como da transformación do humus). Pero, ó mesmo tempo, ó ser a mobilidade tan alta non dá tempo a que as raíces absorban os sales da solución que son arrastrados cara a niveis máis profundos. Pola contra, os microporos dificultan a devandita circulación pero favorecen a absorción dos nutrientes ó estar moito máis tempo a disolución acuosa en contacto coas raíces.

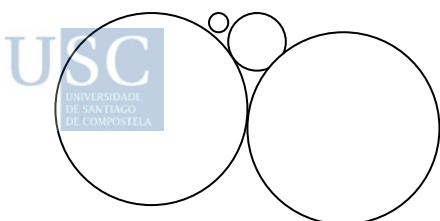
Por estas razóns, a estrutura máis interesante desde o punto de vista da fertilidade é aquela que ten como base un tamaño intermedio de poros.

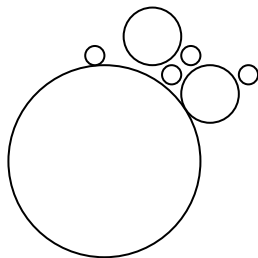
30. Os solos máis idóneos desde o punto de vista da fertilidade son aqueles que presentan unha textura equilibrada (solos francos). ¿Como influirá este feito na formación dunha estrutura axeitada para o desenvolvemento dos vexetais?

R. Os solos francos teñen unha proporción de areas e arxilas tal que facilita a formación dunha estrutura con microporos de tamaño intermedio, conseguíndose deste xeito un equilibrio entre unha axil circulación de aire e auga e a retención da disolución acuosa o tempo suficiente para que as raíces recollan os nutrientes.

31. Utiliza tres tamaños de círculos para representar a area, o limo e a arxila, por orde decrecente, tendo a partícula maior un diámetro de dúas cuadrículas de caderno, a mediana, unha cuadrícula e a pequena, media cuadrícula. Fai un debuxo que exprese a estrutura da actividade anterior tal e como a imaxinas.

R.





32. Cando un solo é moi pisado polo gando, tractores, automóviles todo terreo, motocross, bicicletas de montaña, etc. Acaba perdendo fertilidade. Busca unha explicación a este feito baseándote en todo o visto anteriormente.

R. Estes aparellos exercen presión sobre o solo, co que diminúen o tamaño de microporos e por tanto pérdese a estrutura co que se dificulta o acceso e recollida de nutrientes por parte das raíces e tamén se dificulta o desenvolvemento das mesmas.

33. Pode verse afectada a estrutura dun solo por algún factor distinto o tamaño de gran? Razoa a resposta.

R. O exposto na actividade anterior é un exemplo de como inflúe un factor diferente o tamaño de gran, pero ademais tamén inflúen outros como: presenza de compostos derivados do humus, sustancias simples como Fe, Al, Ca, Mg, etc. e a fauna do solo, como as dexeccións das miñocas que forman pequenas esferas.

34. Lee o texto relativo á relación entre o proceso de formación dun solo e analiza o seu contido para responder ás actividades 35, 36 e 37

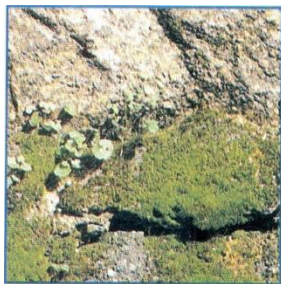
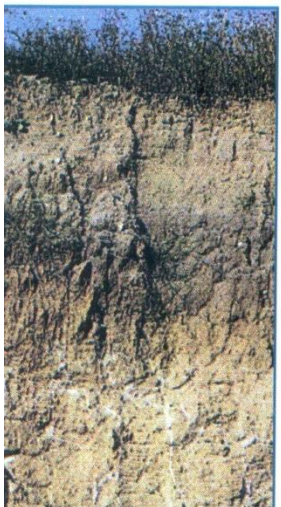


Figura 7.31



Figura 7.32



O proceso de formación dun solo pode comezar sobre unha rocha espida sobre a que se instalan uns vexetais moi pouco esixentes (líques e brións) que contribúen á meteorización química da rocha, e vaise formando unha pequena capa, en principio nos ocos, que é a mestura de partículas desprendidas cos restos da materia orgánica proveniente da descomposición dos devanditos vexetais. A medida que vai aumentando o grosor deste substrato vai permitindo o asentamento doutras especies vexetais máis esixentes, con maior sistema radicular, o que incrementa a acción de degradación (figura 7.31).

Entre as características desta primeira capa dun solo (**horizonte A**) destaca a súa cor moura e ás veces a presenza de restos vexetais. Nesta situación inicial, o chan ten espesor de escasos centímetros e a vexetación aséntase moi próxima á rocha co que o solo novo está constituído por un horizonte A seguido da *rocha nai* (**R**) (figura 1). Este material orixinal vai soltando anacos de rocha que en principio aínda recorda visualmente á rocha inicial pero que, pouco a pouco, vai converténdose nun material alterado cada vez máis masivo (**horizonte C**) (figura 2). Como consecuencia deste feito, ó que se engade a chegada á parte superior de C de substancias minerais procedentes do horizonte A disoltas na auga filtrada, fórmase un novo horizonte intermedio entre A e C (**horizonte B**) (figura 3). Unha das características máis salientables deste horizonte é a súa cor arroibada que se produce como consecuencia do acúmulo de minerais, ricos en ferro, provenientes da rocha, que son moi resistentes á alteración.

Por tanto, ó longo do tempo os solos evolucionan desde o tipo **AR** ó tipo **ABCR** pasando polos **ACR** e incluso os propios horizontes se van facendo cada vez máis grosos, de tal xeito que de dous solos ABCR, un pode ser máis maduro que o outro se ten un horizonte B de maior espesor, por exemplo.

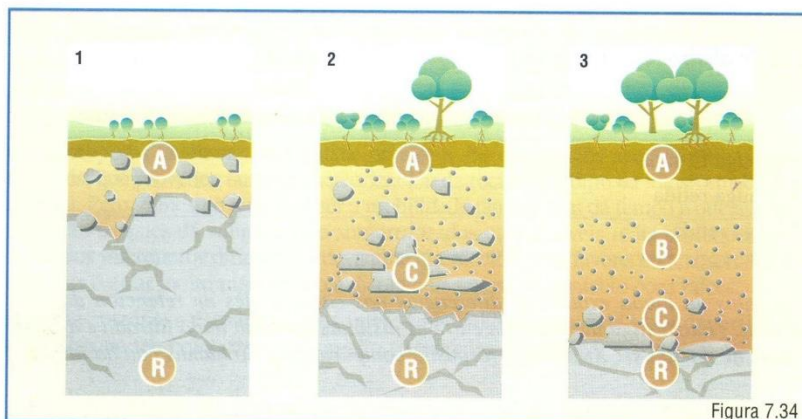


Figura 7.34

Se facemos un corte dun solo observamos os distintos horizontes (**perfil**) que non presentan unha separación nítida senón máis ou menos gradual (figura 7.33).

35. Coloca sobre a fotografía dun solo da actividade 10 (fig. 7.7) un papel cebola e calca as diferentes capas que distingues no mesmo. Numéraas por orde de antigüidade e trata de identificar os compoñentes de cada unha. Ponlle nomes a cada unha das capas utilizando o criterio do texto e indica a súa cor dicindo tamén se trata dun chan novo ou maduro.

R. Táboa coa orde de antigüidade, compoñentes e nome de cada unha das capas:

Orde de antigüidade	Orde de colocación	Compoñentes	Nome	Cor
1º (máis antigo)	4º (máis profundo)	Minerais característicos da rocha nai	R	O da rocha nai
2º	1º (máis superficial)	Restos de vexetais, humus..	A	Moura
3º	3º	Fragmentos alterados da rocha nai	C	Parecida a rocha
4º	2º	Sustancias minerais procedentes da alteración de A e C: arxilas, óxidos de Fe...	B	

Este é un solo que chegou ó máximo desenvolvemento en canto a nº de horizontes, a partir deste momento non aparecen novos horizontes, por tanto é un solo maduro.

36. Clasifica, utilizando a nomenclatura ABCR e ordena de menor a maior grao de evolución, os solos que acompañan o texto como fotografías e que figuran como figuras 7.31, 7.32 e 7.33

R.

Orde de menor a maior grao de evolución	Explicación
Figura 7.31	É un solo AR onde a rocha empeza a transformarse por vexetais pouco esixentes.
Figura 7.32	É un solo ACR, observase unha capa bastante grossa de humus sobre fragmentos da alteración da rocha.
Figura 7.33	É solo desenvolvido, como xa se comentou.

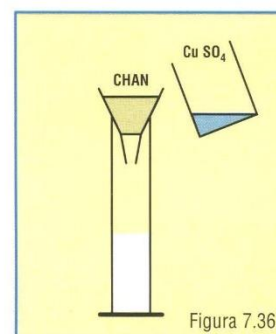
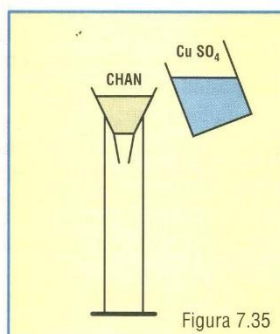
37. Realiza a práctica relativa á relación entre o poder absorbente do solo e súa relación co fertilidade dos solos segundo a súa composición e estrutura e compara a cor da auga filtrada coa da solución orixinal.



Poder absorbente do solo

Material: probeta ou frasco, anaco de tea, goma, funil, vaso e solución de Cu SO_4 (aq).

Utilizando un funil que leve no extremo inferior (afiado) unha tea axustada cunha goma, con certa cantidade de solo, facemos pasar ó seu través unha disolución de sulfato de cobre, sal mineral de intensa cor azul. Recolle o filtrado no vaso de precipitado. Observa a cor da auga filtrada e compáraa coa solución orixinal.



R. A cor diferenciase máis da disolución orixinal canto maior é a capacidade de retención da mostra de solo pola que se filtra, así na mostra areosa a solución filtrada ten unha cor moito máis parecida a anterior ó filtrado que no caso da mostra arxilosa.

38. Qué relación existe entre o cambio de cor e a capacidade do solo de reter sales minerais?, ¿que importancia terá esta retención para a fertilidade do solo?, ¿Que solo será máis rico en sales minerais, ¿un areoso ou un arxiloso? Razóao.

R. Ó cambio de cor débese a que o solo retén a sal mineral disolta sulfato de cobre que lle da a disolución cor azul, por iso as arxilas descoloran tanto a solución filtrada.

39. A urea ó estar en contacto co aire descomponse en amoníaco e dióxido de carbono.

R. A primeira sustancia é unha sal mineral moi importante para a nutrición dos vexetais, pois aporta o nitróxeno que precisan as plantas para elaboraras proteínas e os ácidos nucleicos, sendo esta un dos motivos polo que son importantes os abonos orgánicos.

40. Por que en moitas zonas de Galicia é frecuente mesturar nos cultivos o millo coas fabas?

R. As fabas son leguminosas e por tanto teñen unhas bacterias adheridas as raíces (nos nódulos) que son capaces de coller o nitróxeno da atmosfera e transformalo en nitratos, que nutre tanto as fabas como o millo.

41. Nunha revista de xardinería aconsellan botarlle ó chan, antes de plantar un arbusto, fariña de ósos. A que cres que se debe esta recomendación?

R. Os osos conteñen sales de fósforo que son nutrientes esenciais para os vexetais.

42. Os solos de Galicia en xeral adoitan precisar menos potasio que os doutras zonas da España calcaria. Explica esta diferenza.

R. Os solos predominantes en Galicia son de orixe granítico, e un dos tres minerais é o feldespato potásico ou ortosa, que como o seu nome indica contén potasio, o cal pode ser aproveitado pola planta como consecuencia da alteración da ortosa.

43. Cando un solo é moi rico en humus presenta un grao óptimo de fertilidade. ¿A que se debe?

R. O humus é resultado da descomposición de restos de seres vivos, e por tanto conter as sales minerais nutritivas que necesitan os vexetais, presentando unha óptima fertilidade.

44. O carbono (C) é o elemento máis importante na composición de calquer ser vivo e, polo tanto, dos vexetais. Sen embargo, como podes concluír do texto, este non é recollido do solo polas raíces. De onde e como o obteñen?

R. Obtéñeno do gas do aire dióxido de carbono que entra polas follas durante o proceso da fotosíntese.

45. Lee o texto relativo á perda de fertilidade dos solos por aumento da acidez, analiza o seu contido para responder ás actividades 46, 47, 48, 49 e 50

8 ¿Que se quere indicar cando se fala de que a acidez dos solos é un problema para a fertilidade?

Os sales minerais, como xa se indicou, están disoltos na auga do solo. Un sal, cando se dissolve na auga, sepárase en dúas compoñentes (*anión* e *cación*) con cargas iguais e de signos opostos.

No caso da disolución do sulfato de cobre en auga, que utilizaches na última práctica, este sepárase no anión $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ e o catión $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$. Normalmente, o anión é de maior tamaño porque adoita estar formado por un grupo de átomos mentres que o catión son partículas soltas. Debido a esta diferenza de tamaño, a auga lava con maior facilidade os catións. Ó quedaren os anións sen os catións captan ións H^+ procedentes dunha pequena porcentaxe da auga do solo para compensar a carga negativa dos anións. Estes ións hidróxeno aumentan o grao de acidez do solo e polo tanto son prexudiciais.

Catións moi importantes na alimentación das plantas, como o $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Mg}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Na}^{+}(\text{aq})$ e $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$, compórtanse en disolución do mesmo xeito que o $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ do exemplo e son lavados pola auga infiltrada (auga de *drenaxe*) cara a niveis inferiores afastados das raíces das plantas. É dicir, co tempo os solos tenden a perder as súas reservas neste tipo de catións, tanto máis canto máis elevadas sexan as precipitacións. Con un clima chuvioso, os chans de Galicia tenden a facerse co tempo máis ácidos; polo tanto, no noso país, canto máis maduro sexa un solo en xeral máis ácido será.

46. Se en vez de sulfato de cobre resolvemos carbonato cálcico, ¿cales serían o catión e anión?. Deste último sal, ¿cal sería máis rapidamente arrastrado pola auga de drenaxe dun solo, o catión ou o anión? Explica a resposta.

R. O catión é Ca^{2+} e anión sería CO_3^{2-} . O catión é máis facilmente arrastrado pola auga de drenaxe xa que é de tamaño menor.

47. Explica o feito de que se incremente a cantidade de catións H^+ paralelamente ó aumento da intensidade de lavado de solo.

R. A auga de drenaxe arrastra catións como o Ca^{2+} , K^+ ou Fe^{2+} , o que fai que os anións captan ións H^+ dunha pequena porcentaxe da auga do solo para compensar a súa carga negativa.

48. Por que a meirande parte das terras galegas, co paso do tempo, se fan cada vez máis ácidas?

R. Un solo maduro en Galicia tende a facerse ácido xa que as sales minerais que proceden da meteorización da rocha están moi profundas, e as que están retidas ó longo do perfil son arrastrada pola gran cantidade de auga de escorrentía que se orixina nun

clima chuvioso como é noso, ademais este proceso vese favorecido pola natureza areosa dos nosos solos.

49. Cal é a causa de que en Galicia (zona de rochas graníticas) e Asturias (zona de rochas calcarias) os solos maduros sexan moi parecidos?

R. A causa é que en ambos casos o clima é moi chuvioso, e aínda que os solos asturianos non son tan areosos (xa que a rocha nai predominante é a caliza e non o granito) acaban tendo moito lavado pola gran cantidade de auga que se filtra. Sen embargo os solos manchegos, que o igual que os asturianos, son calcarios; non son ácidos xa que as precipitacións son escasas, e eso sumado coa natureza pouco porosa deste tipo de solos arxilosos de orixe calcáreo, fai que non sexan ácidos.

50. Por que acidez dos solos é un problema para a fertilidade?

R. A acidez dos solos é un problema para a fertilidade porque catións imprescindibles para a nutrición dos vexetais como Ca^{2+} , K^+ ou Fe^{2+} son substituídos por ións H^+ que son prexudiciais para as plantas.

51. Lee o texto, analiza o seu contido e responde con el ás actividades 52, 53 y 54

9 ¿Para que usamos os solos?

O uso da terra foi cambiando ó longo da historia e non se baseou unicamente na agricultura, aínda que esta desempeñou o papel preponderante. Cada vez máis compiten outros usos co aproveitamento agrícola e forestal, tales como a urbanización, o desenvolvemento industrial, as infraestruturas, a minería ou a utilización cultural e de ocio.

Os solos teñen unhas características naturais que os fan máis axeitados para un uso que para outro e que veñen determinadas por aspectos como: clima, xeoloxía, hidroloxía e vexetación. Outros factores determinantes no tipo de uso que se fai do solo son introducidos pola acción humana, tales como: existencia de infraestruturas (camiños, estradas, corrente eléctrica, teléfono, redes de rego, etc.); cantidade, idade e formación da poboación activa agraria; acceso e disponibilidade de novas tecnoloxías; condicións de mercado e lexislación vixente.

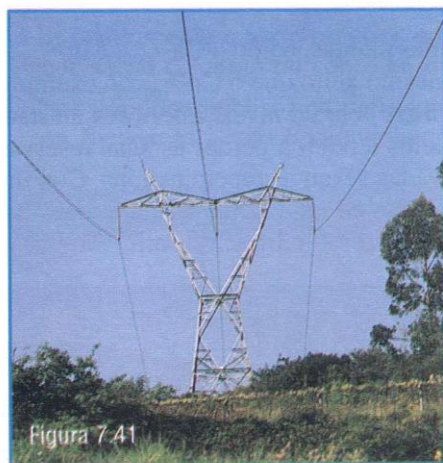


Figura 7.41

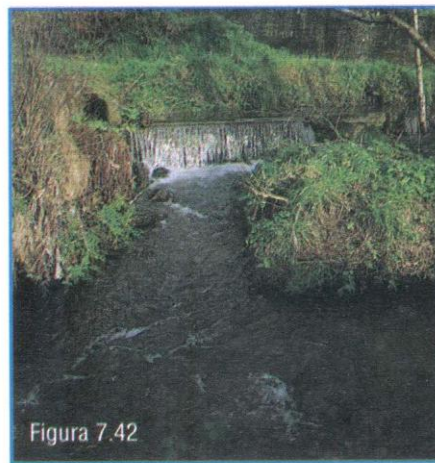


Figura 7.42

A busca do uso máis apropiado para un terreo esixe facer unha lista dos usos potenciais do medio, dadas as condicións naturais propias. Feito isto, estarase en situación de facer a selección do uso máis idóneo do solo nun momento dado. Nesta selección é necesario facer unha comparación entre a utilización actual e o uso máis axeitado do terreo, pensando nos habitantes máis directamente implicados, co fin de que se fagan conscientes de que pode existir unha alternativa mellor.

O solo é un recurso natural non renovable, dado que o seu ciclo de renovación é moi lento ó depender das interaccións entre factores xeolóxicos e biolóxicos durante longos períodos de tempo, polo que calquera sobreexplotación induce modificacións que poden ser irrecuperables.

A meirande importancia do solo como recurso radica no seu uso como substrato para cultivos agrícolas, gandeiros e forestais. Ademais, presenta outros usos, xa citados anteriormente, como son a súa utilización como solo urbano e industrial, así como para vías de comunicación.

52. Infórmate, e redacta os grandes cambios que experimentou o uso do solo nos seguintes períodos da historia da humanidade. Paso de nómade a sedentario, revolución industrial e finais do século XX nos países desenvolvidos.

R. Paso de nómade a sedentario: cultivo da terra, domesticación do gando para traballar a terra, invento de aparellos para o cultivo, construción de casas para animais e persoas ...Revolución industrial: construción de fábricas, vertidos de residuos, trazado de vías de

ferrocarril, aumento das explotacións mineiras de carbón e outros recursos, expansión das cidades arredor das áreas industriais ...Finais do século XX nos países desenvolvidos: usos urbanísticos irracionais, automatización das tarefas industriais, abuso de abonos inorgánicos, trazado de múltiples de estradas e autopistas, grandes vertedoiros de residuos sólidos urbanos e industriais, grandes superficies e polígonos industriais....

53. Elabora unha Webquest sobre o tema: “os usos do solo ó longo da historia da humanidade”.

R. Esta é unha actividade de resposta libre, aínda que se debe ter en conta que se deben tratar as grandes etapas históricas cos seus cambios nos usos: Paleolítico, Neolítico, Idade Media, Revolución industrial e Modernidade.

54. Elabora dous listados, un coas condicións que debe ter un terreo apto para o cultivo e outro coas propias para edificación.

R. Unha estratexia interesante para facer esta actividade é empezar polos criterios para o terreo apto para o cultivo e logo para a construción habería que establecer que na medida do posible cumpira os contrarios, ademais doutros coma drenaxe, rocha para a cementación adecuada, que non queda no borde dun río ou en zonas que podan ser afectadas por cheas, etc.

55. Lee o texto relativo aos usos agrícolas do solo, analiza o seu contido para responder deseguido ás actividades 56, 57, 58 e 59

10 ¿Como se usan os solos na agricultura?

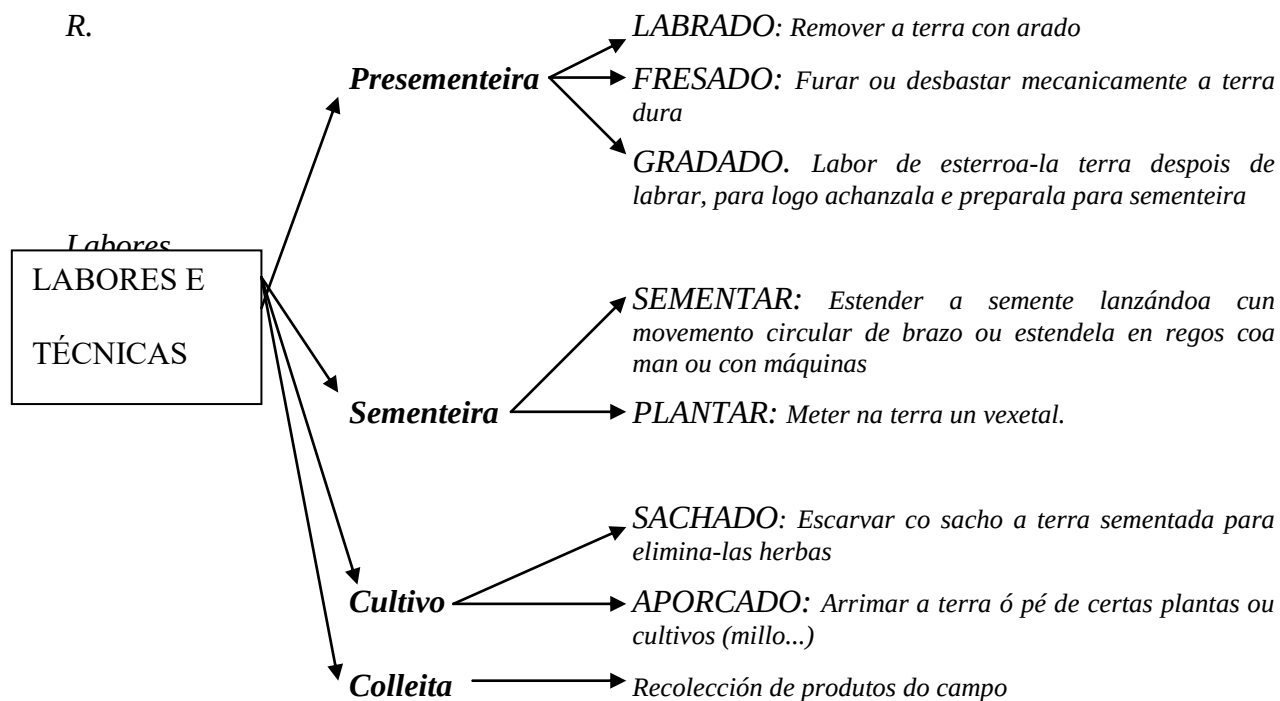
Os usos do solo na agricultura foron cambiando ó longo do tempo, desde que se iniciou no Neolítico. Inicialmente estivo intimamente unida á gandería, dado que se utilizaba o gando, tanto como produtor de esterco como para realizar os labores agrícolas.

Co desenvolvemento industrial a agricultura e a gandería foron progresivamente constituíndose como entidades independentes, incrementándose moito os rendementos en ambos os dous ámbitos.

No caso da agricultura, os labores e técnicas tradicionais fóronse facendo máis eficaces ó tempo que xurdían outras baseadas no desenvolvemento tecnolóxico. Entre todas destacan: a) labores de *preparación* e *presementeira*, que poden ser mecánicas (**labrado, fresado, gradado**) ou físico-químicas (**abonos, emendas, herbicidas**); b) labores de *sementeira* e plantación; c) labores de *cultivo* ou posteriores á plantación, que poden ser mecánicas (**sachado, aporcado**), químicas (aplicación de **fertilizantes, herbicidas e pesticidas**) ou de irrigación e d) labores de *colleita*.

Para evitar a perda de fertilidade nos terreos sometidos a cultivos intensivos, utilízanse unha serie de estratexias entre as que podemos citar: a) o **barbeito**, que consiste en deixar descansar a terra un tempo entre dúas colleitas; b) a **rotación de cultivos**, que adoita estar relacionada co cultivo de cereais, dado que estes extraen do solo moito nitróxeno. Para compensar esta perda, despois de cultivo de cereais, seméntanse leguminosas; c) os **cultivos mixtos** de cereais e leguminosas (exemplo: millo-fabas).

56. Fai un esquema dos distintos labores e técnicas agrícolas, incluíndo o significado



57. Indica porque compre deixar a terra a barbeito.

R. Para darlle tempo a solo a recuperar os sales minerais que lle sacaron os cultivos colleitados. Neste tempo a descomposición de restos orgánicos e a alteración da rocha nai van aportando sales minerais para o seguinte cultivo que se fará despois do período de descanso.

58. Razoa por qué as leguminosas compensan a extracción de nitróxeno feita polos cereais.

R. Polas bacterias do xénero Rhizobium que viven nos nódulos das raíces que fixan nitróxeno.

59. Utilízanse en Galicia tres rotacións de cultivos básicas, moi diferentes entre si. Estas son: 1ª Millo-centeo ou trigo-nabos, 2ª Millo- Raigrás italiano (herba de sementar), 3ª Centeo (barbeito: ano e vez). ¿Cal é a máis utilizada nos terreos pobres? ¿Cal é máis interesante desde o punto de vista gandeiro? Razóao.

R. A máis utilizada en terreos pobres é a terceira, xa que necesita barbeito ano e vez. A máis interesante dende o punto de vista gandeiro é 2ª, pois os produtos son alimentos básicos para o gando, mentres que na 1ª obtéñense produtos moi interesantes para o consumo humano como centeo, patacas ou trigo.

60. Lee o texto relativo ás consecuencias do uso dos solo, analiza o seu contido para responder de seguido ás actividades 61, 62, 63 e 64

11 ¿Cales son as consecuencias do uso do solo?

Desde os inicios da historia da humanidade o solo aportou recursos para a vida humana, pero o abuso desta explotación vai mingando as súas posibilidades.

As primeiras alteracións proceden do uso agrícola que, xa desde o seu inicio no Neolítico, consistiron na eliminación da vexetación natural e a destrución dos bosques co fin de obter pastos para o gando. Este feito elimina o humus natural que proporciona a cohesión dos solos e, por tanto, estes disgregáanse en forma de barro ou desaparecen en tempestades de area.

Este proceso foi incrementándose ó longo da historia, chegando na actualidade a unha situación preocupante debido ás modernas técnicas e estratexias de cultivo entre as que destacan: o uso inapropiado de terreos de bosque para cultivo, formas de cultivo que favorecen a erosión como é o caso da labra do terreo a favor da pendente, uso do lume como método para limpar e despexar o monte, abonados excesivos e incorrectos, manexo inadecuado da auga de rego e vertidos directos de estercos, zurros e outro tipo de materiais semellantes.



Figura 7.45

España é o país de Europa máis afectado pola erosión e degradación do solo debido, en parte, ás condicións do clima mediterráneo.

Por tanto, as consecuencias destes usos agrícolas do solo ó longo da historia son a erosión, a contaminación e a perda de fertilidade por sobreexplotación (figura 7.45), véndose todo isto moi incrementado na actualidade a causa do desenvolvemento tecnolóxico.

Sen embargo, o impacto máis rápido e máis irreversible sobre o solo na actualidade é consecuencia do incremento de superficies industriais e vías de comunicación. Estes usos levan, por unha banda, á perda irreversible de solo e, pola outra, xeran contaminantes que serán transportados ás áreas limítrofes. Por exemplo, vertidos de auga contaminada, emisión de gases que poden xerar chuvia ácida, residuos sólidos urbanos, vibracións, desequilibrios térmicos locais, etc.

61. Como afectará á fertilidade do solo o uso de maquinaria pesada nas labores agrícolas?

R. A maquinaria pesada compacta o solo facendo desaparecer microporos que facilitan a circulación de auga e aire, fundamentais para a fertilidade.

62. Razoa as consecuencias que terán para un solo os aportes de herbicidas, pesticidas e fertilizantes.

R. Os herbicidas e pesticidas e exceso de fertilizantes matan animais plantas e microbios do solo, e impiden deste xeito o normal desenvolvemento do mesmo e por tanto a perda de fertilidade.

63. Os vertidos urbanos e industriais, ¿afectan dalgún modo a un solo? Razoa a resposta.

R. En primeiro lugar os vertidos supoñen unha superficie que illan o solo da atmosfera e impide a acceso ó interior del do osíxeno. Ademais a auga que se filtra lava sustancias solubles contaminantes que poñen en serio perigo a vida do solo, e por tanto tamén o seu desenvolvemento e fertilidade

64. A actividade urbana e industrial, debido sobre todo ás combustións de derivados de petróleo e carbóns, produce emisión á atmosfera de dióxido de nitróxeno e óxidos de xofre, os cales reaccionan co vapor de auga para formaren ácidos que descendén ó solo coas precipitacións. ¿Qué consecuencia terá este feito para os solos?

R. Os ácidos que son sustancias contaminantes, fíltanse disoltos na auga da choiva ácida e contamina os solos.

65. Lee o texto sobre a restauración dos solos e analiza o seu contido para responder ás actividades 66, 67, 68 e 69

12 ¿Pódese restaurar un solo?

Dado que o solo é un recurso non renovable, a súa restauración, unha vez alterado, é unha tarefa moi complicada e ás veces, cando o impacto é moi forte, practicamente imposible.

Xa que logo, é preciso racionalizar o seu uso co fin de darlle oportunidade ó solo de rexerar as perdas ou alteracións que nel se producen. Con este obxectivo, tenden a establecerse unha serie de propostas entre as que se poden citar: a) modificar favorablemente a pendente do terreo, por exemplo mediante a construción de socalcos; b) diminuír a acción erosiva da auga, favorecendo a infiltración e a dispersión; c) previr a talla excesiva de árbores e os incendios forestais, extremando as precaucións no verán e facendo unha repoboación forestal racional, mediante especies que diminúan o risco de incendios; d) diminuír o uso de fertilizantes, mediante o incremento de cultivos mixtos ou a rotación de cultivos; e) eliminar a utilización de insecticidas e herbicidas mediante técnicas de control biolóxico como a introducción de variedades agrícolas resistentes ás pragas, obtidas por mellora xenética, ou a loita biolóxica.

No referente ás construcións e obras públicas, debido a que se executan directamente sobre o chan, supoñen a eliminación de amplas partes do mesmo. De aí que para este mester é moi importante elixir aquelas superficies de menor valor biolóxico.

Aínda sendo moi difícil a recuperación de solos degradados, cando a alteración non superou determinados límites pódese conseguir a recuperación utilizando técnicas e procedementos adecuados.

Un dos exemplos máis recorridos é a recuperación dun bosque queimado. Neste caso, o primeiro que se debe facer é unha utilización masiva de sementes de herbáceas e arbustos de crecemento moi rápido para diminuír a inmediata erosión nas zonas de pendentes. Unha vez conseguida a xermolación desta primeira cuberta, procédese á reforestación con especies seleccionadas para un crecemento rápido nestas condicións. Nas zonas onde agromen arbustos de folla caduca (por exemplo salgueiro), que coincidirán con zonas de pouca pendente e solos profundos, é preferible plantar carballos, castiñeiros, cerdeiras, etc. pola súa maior oposición á propagación de incendios. Pola contra, nas zonas onde o solo é moi pouco profundo e a pendente pronunciada, só se poderán plantar coníferas (por exemplo piñeiros).



Figura 7.46. Salgueiros.



Científicos norteamericanos están a cultivar unha bacteria descuberta en Israel para a súa comercialización. O bacilo en cuestión produce danos intestinais que acaban cos mosquitos e as moscas e é menos prexudicial para o medio ambiente que os insecticidas. A bacteria, *Bacillus thuringiensis israelensis*, non deixa residuos tóxicos e non mata ós predadores de insectos. Preséntase baixo a forma dun po marrón que ó ser mesturada con auga é activada.

Outro insecticida que utiliza entre os seus compoñentes unha substancia erótica pode eliminar cun só gramo ó menos un millar de insectos. O insecticida erótico baséase na substancia que emite o insecto femia na etapa da súa madurez sexual e que percorre moitos quilómetros ata atopar ó insecto macho. O insecto macho endereza entón as súas antenas e percorre o camiño en sentido contrario ata chegar onde se atopa o insecto femia. Un laboratorio de investigación italiano produce agora sinteticamente a substancia "erótica", a feromona, e converteuna nun "insecticida erótico". Unha das aplicacións prácticas desta investigación estase a levar a cabo en plantacións de algodón en África, onde algúns insectos causan cada ano danos incalculables.



66. Explica as medidas a ter en conta para conseguir un uso agrícola ilimitado do solo.

R. Destacan as expostas no segundo parágrafo.

67. Que papel xoga a vexetación en relación coa maior ou menor erosión dos solos?

R. As raíces dos vexetais reteñen o solo e evitan que auga de escorrénteia o arrastre, pero ademais a cuberta vexetal fai que auga caia máis repartida no tempo con moito menos velocidade, diminuindo tamén deste xeito a acción erosiva.

68. Por que é máis difícil que arda unha fraga que un piñeiral?

R. Porque a piñeiral deixa moitas follas no verán, ten resina, e debaixo medran moita vexetación que parte dela seca no verán como os fentos, e na fraga ocorre o contrario.

69. Consideras que se pode restaurar un solo? Explica a resposta.

R. A restauración dun solo é unha tarefa moi complicada e ás veces, cando o impacto é moi forte, practicamente imposible.

4.3 Actividades de síntese e aplicación

70. Elabora un mapa conceptual utilizando os seguintes conceptos: erosión, contaminación, restauración, urbanístico, recurso, agrícola, vías de comunicación, meteorización, compoñente orgánicos, humus, compoñentes inorgánicos, perfil, estrutura, horizontes, porosidade, textura.

R. Pode tomarse como referencia o mapa conceptual desta unidade eliminando os conceptos non especificados na actividade.

71. Lee detidamente o seguinte fragmento dun artigo na revista Quercus, e analiza o seu contido para responder á actividade 72.

O Campo de Dalías, chaira costeira localizada no extremo suroccidental da provincia de Almería, tense citado teimosamente como un dos máis espectaculares éxitos do desenvolvemento económico que se produciu nunha comarca aparentemente pobre en recursos naturais e ancorada nun pasado agrario. En efecto, a abundante bibliografía que existe sobre este caso non cesa de entoar as gabanzas dos logros económicos do que se presenta como exemplo singular, produto dunha afortunada combinación entre enxeño humano, aproveitamento de recursos inéditos e aplicación a gran escala da moderna tecnoloxía agrícola. [...] Sen embargo, todo é opinable en cuestións como esta, onde a cor do cristal pode converter unha resplandecente verdade, na máis badoxa das mentiras, especialmente cando feitos constatados contribúen a modificar a tonalidade rosada dos acontecementos. [...]

Para a máis completa información dos lectores, sería conveniente remontarse ó acontecido hai séculos. [...] Falamos daqueles tempos históricos nos que o bosque mediterráneo comezou a ser sistematicamente tallado en beneficio inmediato das posibilidades agrícolas e gandeiras. Posteriormente, os acontecementos demostraron que aquela actividade conduciu ó consabido "pan para hoxe e fame para mañá", posto que extensas zonas arbóreas do levante español se transformaron nos desérticos ermos que hoxe coñecemos.

Deste xeito, cando nos primeiros anos da década dos cincuenta do presente século empezou a recente explotación da auga subterránea, presentábase nestes e outros lugares próximos un panorama desolador. [...] Unhas décadas despois, a extracción masiva da auga do subsolo permitiu unha radical transformación do lugar, que acabou por converterse nun auténtico emporio onde a produción agrícola alcanzaba cotas ata entón insospeitadas. [...] O éxito destes novos cultivos foi de tal envergadura que rapidamente se propagaron pola comarca, de tal forma que, a principios da década dos sesenta, xa se encontraban en regadío unhas 5.000 hectáreas duns terreos que ata entón só proporcionaban algúns cereais, forraxeiras ou eran extensos ermos baldíos. En 1.962 empezan a levantarse os primeiros invernadoiros de plástico, cos que se logrou incrementar aínda máis os rendementos e gracias ós cales se puido adiantar o momento da recolección en colleitas que o clima local xa facía temperás. [...]

A principios dos anos setenta comezaron a detectarse os primeiros síntomas de esgotamento dos acuíferos, empeorou simultaneamente a calidade da auga e abandonáronse algúns pozos. Sen embargo, a técnica logrou paliar o problema ó introducir o rego por goteo, un sistema que permite un aforro considerable de auga. [...]

Pero, sen dúbida, todo este vertixinoso desenvolvemento encerra no seu propio éxito o xermolo da súa posible derruba. [...] É evidente que todo este singular proceso de desenvolvemento descansa sobre a utilización de dous recursos naturais: o clima local e a auga. O primeiro, inesgotable, foi incluso manipulado en favor dos agricultores a través da proliferación dos invernadoiros. O segundo, finito, extráese do interior dos seus últimos refuxios con tan pouca consideración como mesura. [...] En 1977, o Instituto Xeolóxico e Mineiro de Almería estimaba que a caída do acuifero en todo o Campo de Dalías era xa dun metro por ano e advertía sobre o risco dunha intrusión mariña. [...] En 1980 alcanzouse a cota cero, igual á do nivel do mar nalgúns acuíferos. [...] Incluso en lugares próximos á costa a salinización da auga forzou o abandono de cultivos. [...] Na actualidade, dous dos tres principais acuíferos encontráanse claramente sobreexplotados, polo que os fenómenos de salinización afectan xa a unha superficie considerable. [...]

Atopámonos, polo tanto, ante un claro exemplo de desenvolvemento económico favorecido pola utilización abusiva dun recurso natural. [...]

Miguel Angel García-Dory.
"Agricultura intensiva y explotación de los recursos naturales en el Campo de Dalías".

72. Comenta coas túas palabras a problemática que se expón na lectura anterior. Este é un problema moi frecuente nos solos galegos. Describe algún feito relativo ó nosos contorno.

R. Esta é unha actividade aberta, pero en todos os comentarios debe reflexarse a idea de que os aumentos de rendemento agrícola mediante a aplicación de novas tecnoloxías pode comprometer o futuro das explotacións. Por tanto unha conclusión que se pode extraer é que as explotacións agrícolas deben non deben comprometer o futuro das mesmas xa que o solo é un recurso non renovable, por iso se deben facer dun xeito moi racional.

73. Preparemos a carta para o Concello completando a táboa coas características que atopamos como claves para cada unha das parcelas. Lembra que debido a que coa nova lei do solo só dispoñen dun 10% de solo urbano cedido polos promotores, necesitan facer unha xestión moi racional do mesmo. Nesta cesión corresponderalle as parcelas A, B e C. Os datos resultantes da análise de cada un deles son os seguintes:

	A	B	C
Pendente	10 %	2% ⁽¹⁾	1 % ⁽¹⁾
Espesor	0'5 m	2'5 m ⁽³⁾	1'5 m
Pedregosidade	Alta ⁽³⁾	Baixa ⁽³⁾	Media
Capacidade de retención	Media	Media	Media
Acidez	Alta ⁽³⁾	Media	Media
Perfil	ACR	ABCR ⁽³⁾	ACR
Humus	15 %	25 % ⁽³⁾	20 %
Calcaria	1%	6% ⁽³⁾	4'5 %
Nitratos	0'5 p.p.m.	1'3 p.p.m. ⁽³⁾	1'1 p.p.m.
Drenaxe	alta	Media ⁽²⁾	Alta ⁽²⁾

R. Dado que o solo é un recurso non renovable, débese seleccionar para construír aquela parcela que é menos adecuada para os outros usos nos que sexa necesario un desenvolvemento do solo, como é o caso do campo de fútbol e do xardín botánico. A pesares de que se dan 10 parámetros non se pretende unha análise multifactorial, pois búscase que sexan quen de discriminar o principal do accesorio. Ademais os datos son o máis cualitativos posible para facilitar a análise. A análise pode facerse en base a criterios deste tipo:

- (1) O campo de fútbol debe ter pouca pendente e esta condición queda cuberta con B e con C*
- (2) É moi importante que o campo de fútbol teña unha boa drenaxe, e neste aspecto a parcela C supera a. Aínda que o perfil ABCR de B é máis idónea para a fertilidade que o ACR de C, para o campo de fútbol é mellor seleccionar a C, xa que a B vai a ser máis racional seleccionala para tarefas de cultivo, como as que esixe o xardín botánico.*
- (3) O perfil é o dato máis relevante para seleccionar B para o xardín botánico, aínda que tamén hai datos doutros parámetros que indican que B é a parcela máis fértil como o espesor, a acidez, as porcentaxes de humus e calaza, os nitratos e a pedregosidade. Por tanto a parcela A é a destinada a construción, xa que a arquitectura soluciona facilmente a construción en pendente, e ademais este terreno non é o menos idóneo para os outros dous usos.*

74. Redacta un informe para enviarllo ó concello coa túa decisión xustificada.

R. A resposta é libre, aínda que se debe seleccionar as tres parcelas segundo indicado, razoando a decisión en base os datos da táboa, tal e como se indicou na actividade anterior.

75. Nunha zona experimental na Rothamsted Experimental Station en U.S.A. cultivouse e recolleuse trigo durante máis de cen anos sen engadir nada o solo. Neste tempo, a produción descendeu desde 1492, 25 Kg a 698,5 Kg por hectárea. Sen embargo, a concentración de nitróxeno do chan permaneceu constante durante os últimos oitenta anos. Formula unha resposta razoada á seguinte pregunta. A que é atribuíble que non varíe a concentración de nitróxeno?

R. Unha hipótese aceptable consiste en considerar que nesa zona experimental, en cultivo mixto co trigo ou ben facendo rotación de cultivos, existían plantas de leguminosas que restituían anualmente ó solo unha cantidade de compostos de nitróxeno asimilables polas plantas equivalente á eliminada na colleita.

5. PROCEDEMENTOS E INSTRUMENTOS DE AVALIACIÓN

5.1 Probas escritas

A proba escrita na que se avalíe esta unidade constará dos seguintes ítems:

1. Ao remate da frase pon entre parénteses o número da frase da outra columna coa que se relaciona:

2. Contido en arxila (5)	1. Pesas antes e despois de quantar a mostra (5)
3. Presencia de ar (4)	2. Observar con lupa (3)
4. Presencia de organismos (2)	3. Axitar a mostrar nunha probeta e deixar depositar (4)
5. Tamaño das partículas (3)	4. Obsérvanse burbullas de aire ó axitar un frasco cerrado con tapa e que contén a mostra e no que o resto do volume se completou con auga (2)
6. Presencia de auga (1)	5. Darlle forma a mostra húmida (1)
7. Presencia de sílice (6)	6. Ráíase o cristal ó frotar (6)
8. Presencia de materia orgánica (7)	7. Burbúllea ó engadir auga oxixenada (7)

2. Explica como contribúen a formación do solo os seguintes fenómenos:

-  a) Cambios bruscos de temperatura
b) Enchárcameto por choiva ácida

- c) Liques, brións e plantas superiores
- d) Miñocas

3. Completa as frases relativas as capas do solo

- a) Os solos máis....., terán máis capas que os máis.....

Entre as características da primeira capa dun solo, horizonte, destaca a súa cor..... e as veces a presenza de restos.....

- b) O horizonte.....esta formado por anacos alterados da.....de aspecto masivo que se parecen a dos que se desprenderon.
- c) O horizonte ten unha cor.....que é consecuencia do acúmulo de minerais de Fe.

4. Ordena de menos a máis maduros os seguintes solos: ACR, AR, ABCR. Explica a orde que estableciches.

5. Subliña os erros e corrixe as frases:

- a) Todas as plantas recollen $N_2(g)$ polos estomas durante a fotosíntese.
- b) Os osos dos animais conteñen unha elevada cantidade de Fe.
- c) O potasio é tóxico para as plantas en mínimas cantidades.
- d) A medida que medran as raíces das plantas van enriquecendo o solo de sales minerais.

6. Fai unha frase con cada grupo de tres termos:

- a) solo-recurso-renovable
- b) uso-agricultura-neolítico
- c) barbeito-colleita-tempo
- d) millo-fabas-mixto

7. Fai unha redacción sobre as consecuencias do uso do solo e as posibilidades da súa restauración.

5.2 Ficha de control da observación directa na aula e no laboratorio

Cubrirase a ficha de control da unidade poñendo Ben (B)/Mal (M)/Regular (R), na sesión na que se fixo a observación significativa mentras o alumno está a facer a actividade relativa ao indicador

Alumno/a:

INDICADOR	1ª SESIÓN	2ª SESIÓN	3ª SESIÓN	4ª SESIÓN	5ª SESIÓN	6ª SESIÓN	7ª SESIÓN	8ª SESIÓN
Realiza observacións sistemáticas nas prácticas de laboratorio								
Analiza con propiedade ls textos didácticos e científicos								
Analiza os datos en lecturas e experiencias diferenciando os categóricos dos anecdóticos								
Formula hipóteses e controla variables								
Usa argumentos para chegar a conclusións								
Propón deseños experimentais								
Propón modelos explicativos								

5.3 Ficha de rexistro de anécdotas con datos significativos relativos aos criterios de avaliación

Cubrirase a anécdotas significativas en relación ao indicador nas sesións destinadas ao desenvolvemento da unidade nas que se observa:

SESIÓN	DESCRIPCIÓN DA ANÉCDOTA SIGNIFICATIVA
1ª	
2ª	
3ª	
4ª	
5ª	
6ª	
7ª	
8ª	

Panel 1:



Panel 2:

www.climantica.org

Climántica
Clima
Cambio

Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

O Clima e o Tempo

Moltras veces confundíndose os significados de clima e tempo atmosférico.

O clima
Promedio das condicións do tempo durante un período longo de tempo (normalmente 30 anos).

"En Galicia chove e as temperaturas son suaves..."

O tempo atmosférico
Estado da atmosfera nun determinado momento e noutro determinado.

"...pero está así e haber sol e así calor"

3°C son moi importantes

EN VALENCIA
17,2 °C
742,0 mm

NA CORUÑA
14,3 °C
742,3 mm

A temperatura e as precipitacións son dúas das principais condicións do clima. No entanto, a temperatura media é máis importante para a vida. A temperatura media é a suma das temperaturas máximas e mínimas dividida por dous. A temperatura media é a suma das temperaturas máximas e mínimas dividida por dous.

CO₂, Temperatura e Vida

O CO₂ é un gas de efecto invernadero que reflicte parte da enerxía que a superficie da planeta emite de volta á atmosfera.

As especies animais e vexetais teñen adaptado os seus aspectos e comportamentos aos diferentes climas.

A Tundra
Temperaturas baixas e pouco luz. As plantas crecen pouco e as árbores son baixas. O clima é frío e o inverno é longo.

A Taiga
Clima frío e húmido. As árbores son altas e as plantas crecen pouco. O clima é frío e o inverno é longo.

A Sabana
Clima quente e húmido. As árbores son altas e as plantas crecen pouco. O clima é quente e o inverno é curto.

O Deserto
Clima quente e seco. As árbores son baixas e as plantas crecen pouco. O clima é quente e o inverno é curto.

A Selva
Clima quente e húmido. As árbores son altas e as plantas crecen pouco. O clima é quente e o inverno é curto.

RESPONDE:
É o mesmo tempo que clima?
O dióxido de carbono é malo para a vida?

Unha diferenza de 3 °C na temperatura media, ten importancia para a vida?

A alta presenza de CO₂ na atmosfera do planeta reflicte unha parte da enerxía que a superficie da planeta emite de volta á atmosfera. Isto fai que a temperatura media do planeta aumente e que o clima se converta máis quente. A alta presenza de CO₂ na atmosfera do planeta reflicte unha parte da enerxía que a superficie da planeta emite de volta á atmosfera.

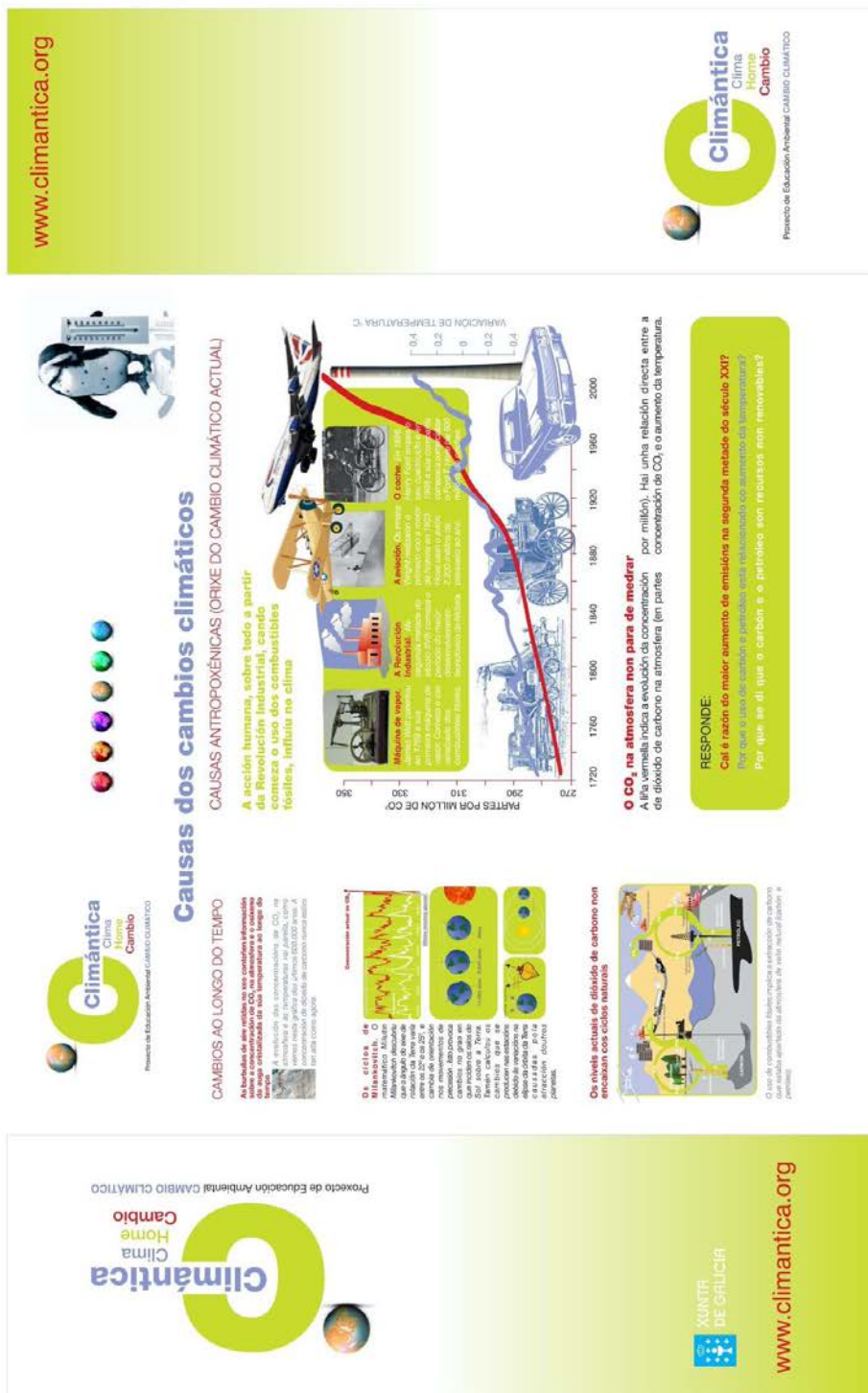
Panel 3:



Panel 4:



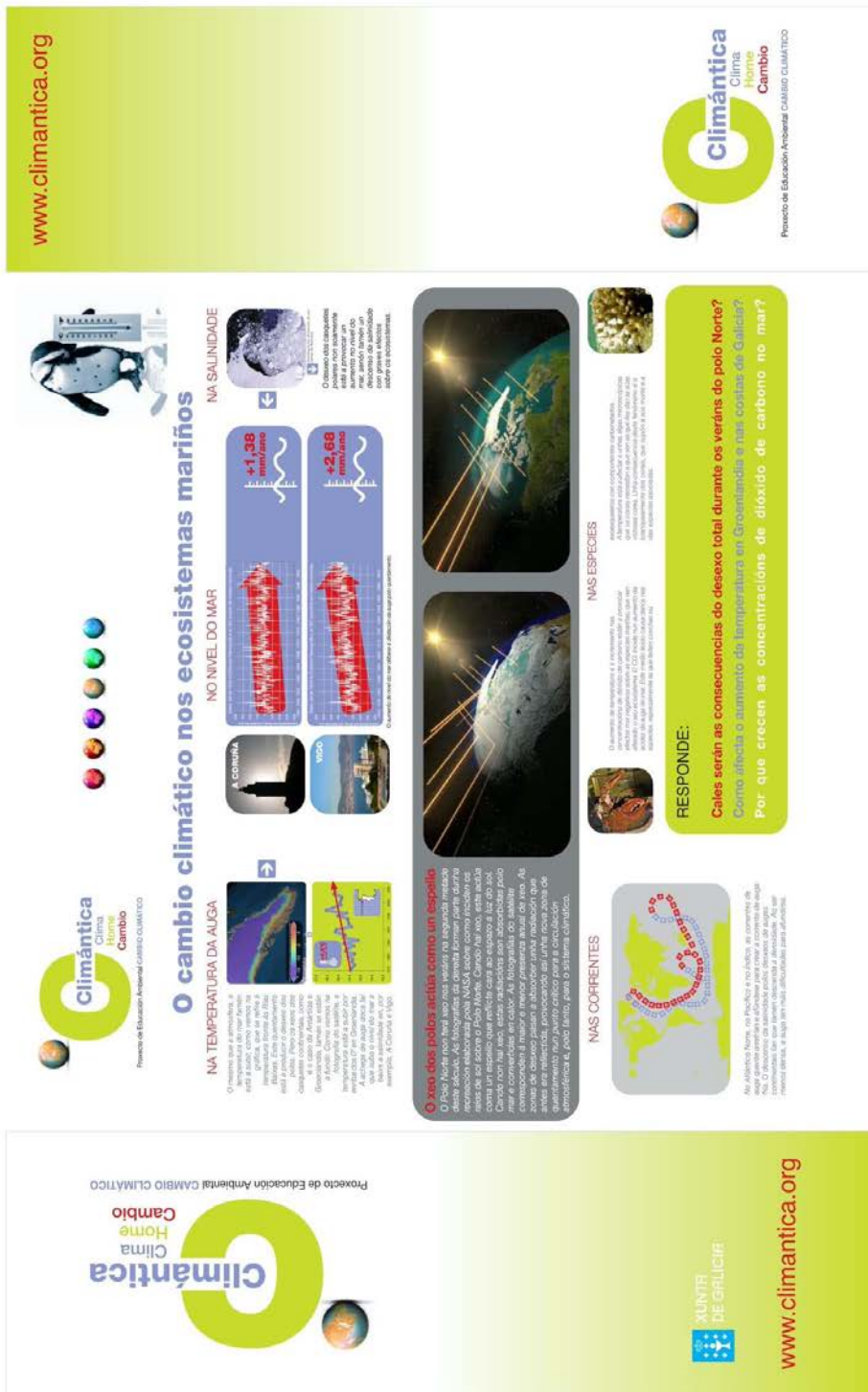
Panel 5:



Panel 6:



Panel 7:




Climática
 Casa
 Home
 Cambio
 Proyecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

www.climantica.org

Climática
 Casa
 Home
 Cambio
 Proyecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

O cambio climático e a sociedade



Retardos climáticos
Segundo o informe Nacional das UNs, 120 millóns de persoas vivirán en zonas áridas, semiáridas e cálido no século XXI debido ao cambio climático. O clima cambiará de forma drástica e as consecuencias serán graves para a humanidade. Os gobernos deben tomar accións políticas, de innovación e de investigación como causa da migración.



Emisións de CO2 por habitante
O gráfico mostra as emisións de CO2 por habitante en toneladas métricas por ano. Os países desenvolvidos emiten moito máis que os países en desenvolvemento.



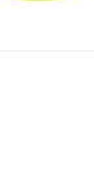
Emisións de CO2 da poboación mundial
O gráfico mostra as emisións de CO2 da poboación mundial en toneladas métricas por ano. A poboación mundial crece rapidamente e as emisións de CO2 tamén.



Salvar as selvas
As selvas tropicais son importantes para o planeta porque absorben CO2. A destrución das selvas contribúe ao cambio climático.



Unha transición enerxética chinesa
A China está a converterse nunha potencia enerxética. Está a reducir as emisións de CO2 e a promover a enerxía renovable.



A temperatura do Índice agrario a fame en África
A temperatura do Índice agrario a fame en África está a aumentar. Isto pode levar a problemas de alimentación e saúde.



Unha transición enerxética chinesa
A China está a converterse nunha potencia enerxética. Está a reducir as emisións de CO2 e a promover a enerxía renovable.


XUNTA DE GALICIA


Climática
 Casa
 Home
 Cambio
 Proyecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

www.climantica.org

Alto risco de inundación
 O nivel do mar está a subir debido ao derretimento das glaciacións e a expansión térmica da auga. Isto pode levar a inundacións costeiras e interiores.

RESPONDE:
 No como da Terra en Rio de Janeiro (1992) estableceuse que "quien contamina paga".
 O Protocolo de Kyoto establece que os países desenvolvidos deben reducir as emisións de CO2.
 O Acordo de París establece que todos os países deben reducir as emisións de CO2.

Esta tesis tiene por finalidad conocer cómo los estudiantes desarrollan la capacidad de elaborar argumentos y modelos en actividades de argumentación relacionadas con temáticas medioambientales en diferentes escenarios. Se analiza el discurso de los estudiantes, en concreto analizamos los patrones discursivos, los tipos de interacción en la construcción de argumentos y los modelos construidos por parte del alumnado de secundaria. Los participantes son estudiantes de 3º de ESO (2 casos sobre CC. del suelo) y de 1º de Bachillerato (4 casos sobre cambio climático). Los seis casos tienen en común los aspectos generales compartidos que se centran en tres grandes dimensiones: 1) análisis de la interacción; 2) la construcción de argumentos y 3) la activación y modificación de los modelos de los estudiantes.