

Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización

Paloma Blanco-Anaya y Joaquín Díaz de Bustamante

Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultad de Formación del Profesorado. Universidad de Santiago de Compostela (Campus de Lugo). Lugo, España.

paloma.blanco@usc.es, joaquin.diaz@usc.es

[Recibido en diciembre de 2016, aceptado en junio de 2017]

En este artículo se analiza el desempeño de los estudiantes, mientras trabajan en grupo, para la dimensión de la competencia científica “explicación de fenómenos científicamente” durante una actividad de modelización de un proceso de sedimentación. Para ello se sigue una metodología cualitativa, que comprende la adaptación de la rúbrica elaborada por la OCDE (2008) para medir el nivel de desempeño alcanzado por los grupos para esta destreza científica. Los resultados muestran que los grupos capaces de establecer más relaciones entre los modelos parciales de erosión, transporte y sedimentación presentan una visión más completa del proceso de sedimentación en un medio continental, por lo que esos grupos desarrollan niveles más altos de desempeño en la competencia “explicación de fenómenos de forma científica”.

Palabras clave: Explicaciones científicas; uso de modelos; procesos de sedimentación.

Analysis the level of performance for the explanation of phenomena scientifically in a modelling-based activity

This article analyses the performance of students, working in groups, for the dimension of scientific competence "explanation of phenomena scientifically" during the modelling-based activity of a sedimentary process. This requires a qualitative methodology, which involves an adaptation of the rubric developed by the OCDE (2008) to measure the groups' achievement level for this scientific competence. The results show that groups capable to establish more relationships between the erosion, transport and sedimentation models get a more complete picture about the sedimentary process in a continental medium, therefore those groups develop higher levels of the competence “explanation of phenomena scientifically”.

Keywords: Scientific explanation; use of models; sedimentary processes.

Para citar este artículo: Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante, J. (2017) Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (3), 505-520. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19504>

Introducción

En el aula de ciencias es común solicitar al alumnado que dé respuesta a un por qué, bien sea para generar una justificación a la respuesta o para averiguar los conocimientos que emplea en la explicación a un fenómeno científico.

Dentro de la competencia científica, definida como “la capacidad para utilizar el conocimiento científico, identificar preguntas y extraer conclusiones basadas en pruebas con el fin de comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que ha producido en él la actividad humana” (OECD, 2004, p.290), se incluye la destreza explicación de fenómenos de forma científica, junto con la identificación de fenómenos científicos y el uso de pruebas. La explicación de fenómenos científicamente supone que el alumnado sea capaz de aplicar el conocimiento en una situación dada, para describir, interpretar y realizar predicciones sobre un fenómeno, la cual puede generarse a partir de una hipótesis, de una

teoría o modelo (OECD, 2006). Es por ello que, coincidiendo con Giere (1998), las explicaciones científicas comprenden un conjunto de modelos, los cuales activamos cuando tenemos que elaborar una explicación acorde al fenómeno.

Considerando esto, en este artículo se describe la relación entre la explicación científica y el uso de modelos, para dar respuesta al propósito del estudio que consiste en analizar el desempeño de los estudiantes para la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, mientras trabajan en grupo en una actividad de modelización de los procesos sedimentarios.

El uso de modelos en las explicaciones científicas

Las explicaciones científicas buscan interpretar fenómenos que tienen lugar en el mundo natural. Ya en tiempos de Aristóteles, los filósofos clasificaban el conocimiento científico en dos principales tipos: el conocimiento del *qué*, descriptivo, y el conocimiento del *por qué*, explicativo, ya que trata de responder al por qué suceden los fenómenos, buscando los mecanismos que subyacen en él (Salmon, 1989). Nuestro propósito es destacar que las explicaciones son una parte fundamental de la construcción del conocimiento científico y, consecuentemente, de las prácticas científicas. Como indican Reiser, Berland y Kenyon (2012) la explicación consiste en definir o describir un fenómeno y en unir una cadena de razonamientos para el fenómeno explicado. De ahí el interés en que los estudiantes sean capaces de desarrollar explicaciones ante cuestiones científicas planteadas en las clases de ciencias.

Los tres grandes tipos de explicaciones científicas relevantes en la didáctica de las ciencias, según Braaten y Windschitl (2011), son: a) aclarar un significado o un razonamiento, pues es frecuente pedir a los estudiantes que expliquen sus razonamientos o indicar a qué se refieren con un término en particular; b) identificar mecanismos causales es decir, identificar las causas que podrían haber dado origen al fenómeno a explicar; y c) justificar la explicación aportando pruebas, lo que muestra que la explicación científica y la argumentación están interconectadas epistémicamente.

Coincidimos con Ziman (2003) en que las observaciones del mundo natural se realizan a través de un modelo, que puede ser el modelo establecido por la comunidad científica (modelo científico o teórico) o el modelo propio del individuo. Si entre la comunidad científica hay diversas formas de explicar los fenómenos, es esperable que los estudiantes presenten sus propias ideas acerca de cómo funciona el mundo y que, a su vez, difieran notablemente de las científicas, como así lo han demostrado los estudios de los años 80 acerca de las ideas alternativas de los estudiantes (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985, entre otros). Por ello es necesario tenerlas en cuenta puesto que pueden suponer un obstáculo para la adquisición del conocimiento científico (Bachelard, 1938; Pedrinaci, 2001; Megalakaki y Tiberghien, 2011). No obstante, mientras que las ideas alternativas se pueden considerar más o menos estáticas y aisladas, los modelos explicativos que emplean los estudiantes estarían constituidos por una estructura de creencias e imágenes que es generativa, es decir, les permite integrar nueva información, hacer predicciones, actuar y generar nuevos conocimientos al pensar con dichos modelos (García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012).

Al hablar de modelos en ciencias debemos detallar qué entendemos por este término, puesto que en sí puede significar evento, un objeto, un proceso o un sistema (Gilbert y Boulter, 1998). En este estudio adoptamos la definición propuesta de Gilbert, Boulter y Elmer (2000), en la que establecen que un *modelo* es una representación de un fenómeno inicialmente producida con un propósito específico. En donde el *fenómeno* debe ser entendido como parte

del “todo” y el *propósito específico* como la explicación de algo en “particular”. En definitiva, como indican los mismos autores, el modelo sería la representación parcial de un fenómeno natural.

Aunque los modelos ayuden a “*fomentar una enseñanza de las ciencias más auténtica*” (Justi, 2011, p.97), no debemos olvidar que no son copias fieles de la realidad, es decir, hay que tener en cuenta aquello que no se está representado. En nuestra propuesta la principal limitación del modelo es que no hay una total representación del proceso de sedimentación por no ser posible la modelización material de la erosión ni del transporte. Esa limitación deberá ser resuelta por los propios estudiantes al crear un modelo verbal de estos procesos.

De forma simplificada, Justi y Gilbert (2006) indican que los modelos presentan una estructura triangular (ver figura 1) en la que en el vértice superior se sitúa el modelo el cual presenta dos dominios (situados en los vértices inferiores): el origen y el objetivo los cuales comparten ciertos atributos entre sí. La idea inicial de esta estructura proviene de Duit y Glynn (1996), quienes denominan al ‘modelo’ como ‘representación’, la

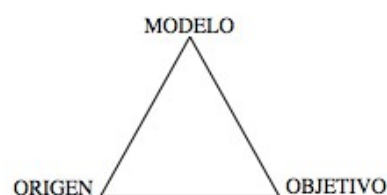


Figura 1. Estructura triangular de modelo (adaptada de Duit y Glynn, 1996)

siguiendo esta representación, Justi y Gilbert (2006) explican los tres elementos indicando que el *objetivo* es el aspecto de la realidad que está siendo modelado, mientras que el origen es una entidad familiar empleada para representar el objetivo. Y, finalmente, el *modelo* es el resultado de dicha representación.

De las variadas formas para clasificar los modelos, estamos de acuerdo con la clasificación propuesta por Gilbert *et al.* (2000), quienes realizaron una clasificación del estado ontológico de los modelos siendo el primer eslabón el *modelo mental*, entendido como una representación que cada individuo tiene del proceso a estudiar. Cuando este modelo pasa a ser del dominio público se considera un *modelo expresado*, que puede estar representado según lo requiera la actividad de modelización: concreto o material (modelos materiales, maquetas), verbal (descripción, explicación, argumento, analogía y metáfora), visual (diagramas, animaciones, simulaciones) y gestual (son movimientos del cuerpo o sus partes) (Boulter y Buckley, 2000). Estos modelos expresados al discutirse entre grupos constituyen un *modelo consensuado*, que en el marco de la comunidad científica se denominan modelos *científicos*.

A este proceso, desde que el alumnado genera un modelo mental para explicar el fenómeno en cuestión, hasta que lo expresa y lo revisa en función de la información disponible se le conoce como *modelización* (Gilbert y Justi, 2016, entre otros). Este proceso consiste en la construcción de modelos nuevos, ya sean expresados o materiales, y la revisión y evaluación de los modelos ya adquiridos o aprendidos.

Un tipo de modelos en ciencias son los *modelos analógicos* (o análogos) los cuales se elaboran partiendo de un conjunto de analogías. El uso de analogías está ampliamente extendido en las clases de ciencias cuando los docentes se sirven de objetos familiares para los estudiantes con los que explicar conceptos o fenómenos que no son conocidos por los mismos. Así, una analogía es el proceso a través del cual un objeto (análogo) se emplea para representar un elemento (objetivo) por el hecho de que comparten funciones o características (Justi y Gilbert, 2006). Para elaborar la analogía es necesario partir de un modelo mental que ya posee el alumno sobre la situación objeto (Oliva y Aragón, 2009).

Aunque el propósito de este estudio no sea analizar la analogía que emplean los estudiantes, consideramos, al igual que Aragón, Oliva y Navarrete (2014), que una actividad con analogías crea un entorno que contribuye a poner en marcha las prácticas propias de la modelización. De este modo, en la representación del modelo de los procesos de sedimentación, las analogías consisten en representar el medio de sedimentación (objetivo) mediante un recipiente de plástico (análogo) y el agua, y los sedimentos con grava y dos tipos de arena.

Las analogías presentan una serie de ventajas, como facilitar la comprensión de lo abstracto al buscar similitudes con el mundo real y pueden mejorar su visualización (Duit y Glynn, 1996). Sin embargo, debemos tener en cuenta las desventajas ya que según Glynn, Britton, Semrud-Clikeman y Muth (1989), las analogías pueden resultar un arma de doble filo ya que hay características del análogo que difieren notablemente de las características del objetivo, o lo que Harrison (2008) denomina las relaciones positivas y las negativas en una analogía. De este modo, como indican Glynn *et al.* (1989), para que exista un razonamiento analógico la relación entre ambos elementos (análogo y objetivo) debe estar clara para el alumnado y el docente, así como que los estudiantes estén familiarizados con el objeto análogo. No obstante, el hecho de que no exista un análogo “perfecto” no nos debe preocupar ya que analizar con los estudiantes las imperfecciones es una excelente herramienta de aprendizaje, pues se manifiestan las dificultades que pueden surgir en el momento de explicar las ideas abstractas (Aubusson y Fogwill, 2006).

En geología, como afirma Schumm (1991), la interpretación de sucesos del pasado y predicción del futuro requiere del razonamiento por analogías. Ello contribuye a solventar algunas de las dificultades asociadas al aprendizaje de las ciencias (Álvarez y García de la Torre, 1996). Según estos autores, las dificultades de esta disciplina radican en 1) el espacio en que tienen lugar los procesos geológicos, ya sea por su extensión o profundidad, 2) el largo periodo de tiempo en que transcurren esos procesos, o bien la rapidez de los mismos cuando hablamos de terremotos, 3) las variables físicas (presiones, temperaturas, caudales, ...) difícilmente reproducibles en un laboratorio, tal y como se puso en evidencia en el estudio de Lacreu (1997) en que se propone un modelo analógico para explicar las transformaciones de las rocas. Por lo que el hecho de trabajar con analogías podría contribuir a mejorar el aprendizaje de la geología, al permitir una visualización de los fenómenos a pequeña escala, por ejemplo el movimiento de las placas litosféricas o, como es nuestro caso, la acumulación de sedimentos.

Metodología

La metodología de este estudio es cualitativa, en concreto un estudio de caso, ya que se analiza el discurso de los estudiantes en un contexto concreto, en el cual las variables no pueden ser controladas en su totalidad (Yin, 2003).

El estudio se llevó a cabo en dos institutos de Educación Secundaria (IES) de Galicia con alumnado que cursaba la materia de Biología y Geología en 4º de ESO. Los estudiantes fueron un total de 13, de los cuales 7 son chicas y 6 son chicos, cuyos nombres fueron sustituidos por pseudónimos conservando el género.

Para el desarrollo de la tarea, el alumnado se organizó de forma autónoma en pequeños grupos de 3-4 integrantes, constituyendo un total de 4 grupos, cuya nomenclatura y composición se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura y composición de los grupos

IES	Grupo	N.º participantes	Pseudónimos
1	G	3	Gloria, Gregorio, Guillermo
	H	3	Helio, Héctor, Horacio
2	L	4	Luís, Loreto, Leticia
	N	4	Noa, Nuria, Nicola, Noemí

Propuesta didáctica: ¿a qué nos referimos cuando hablamos de estratos?

La actividad está diseñada para 4º curso de la ESO, de manera que se dé respuesta al bloque de contenidos 2 “la dinámica de la tierra” en el que se indica que el alumnado debe ser capaz de resolver “problemas simples de datación relativa, aplicando los principios de superposición de estratos, superposición de procesos y correlación” (MECD, 2015, p. 212). Esta actividad fue implementada por ambos docentes, mientras que la investigadora atendía a la toma de datos. La actividad fue discutida previamente con los docentes y se implementó dentro de las programaciones docentes, de forma que diese continuidad a los contenidos abordados en la materia.

Esta tarea (figura 2) es una adaptación de una práctica de geología que consiste en simular la deposición de estratos en una cuenca elaborada por King en el proyecto ELI (www.earthlearningidea.com). La adaptación de la misma consistió en contextualizar esta deposición de materiales en un medio sedimentario continental (fluvial o lacustre) empleando para ello: 2 tipos de arena, grava, recipiente y agua. Entendiendo como medio sedimentario como “un área de la superficie terrestre en la que tiene lugar la sedimentación y delimitada de las áreas adyacentes por los cambios en las características físicas, químicas y biológicas que condicionan el depósito” (Vera Torres, 1994, p.53).

El planteamiento de la actividad está enfocado a la modelización de los procesos sedimentarios en un medio continental (fluvial o lacustre) que se formó como resultado de los procesos geológicos externos. De ahí que se busque que los estudiantes sean capaces de describir el proceso de erosión, con el que explicar las diferentes granulometrías de los materiales, el proceso de transporte por el que los materiales se trasladan desde el lugar en que fueron meteorizados hasta el medio en que sedimentarán, y el proceso de sedimentación para explicar el orden de las capas de los materiales depositados. De este modo podríamos decir que hay tres modelos ‘parciales’ implicados: erosión, transporte y sedimentación, relacionados entre sí y que deberán ser activados por los estudiantes.

¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?

Queremos simular cómo se depositan los materiales procedentes de la erosión en una cuenca sedimentaria.
Materiales: Recipiente de plástico transparente, arena de playa, arena de gato, grava, agua
Para comenzar debéis razonar lo siguiente:

1. En el modelo que vais a construir, ¿qué elementos de una cuenca sedimentaria relacionaríais con los materiales que se os proporcionan?
2. ¿Cuál es el fenómeno que lleva los materiales hacia la cuenca sedimentaria?
3. ¿En qué se parecen y en qué se diferencian los materiales de los que disponéis? ¿Cómo vais a tener esto en cuenta?
4. ¿Cómo creéis que se depositarán? ¿Y por qué?

A continuación, planificar entre los integrantes del grupo cómo vais a añadir los materiales (el orden, el número de capas, etc.) y escribirlo. Ahora realizar el modelo depositando los materiales según vuestra planificación.

Finalmente, responder las siguientes preguntas:

5. ¿Cuántos estratos obtuvisteis?
6. ¿Cuál de ellos corresponde con el más antiguo? ¿Y cuál con el más reciente?
7. ¿Qué otras características cumplen estos estratos?
8. ¿Qué información acerca de la Historia de la Tierra nos pueden proporcionar los estratos?

Figura 2. Tarea presentada a los estudiantes. Nótese que las preguntas 5, 6, 7 y 8, se entregaron una vez las maquetas estaban elaboradas.

Previo a la elaboración del modelo material, se proponen unas preguntas (1, 2, 3, y 4) para suscitar la reflexión sobre las analogías a emplear y la planificación de la elaboración del modelo material.

Una vez respondidas las primeras preguntas, los estudiantes deben emplear los análogos proporcionados, atendiendo a que los materiales corresponden con los sedimentos, el agua juega un doble papel por ser el agente de transporte y el medio de sedimentación. Por último, el recipiente corresponde al medio sedimentario continental (fluvial o lacustre).

Una vez realizado el modelo material, se les proponen unas preguntas finales (5, 6, 7 y 8) para promover la reflexión sobre el modelo y la disposición de los estratos, simplemente para ver si son capaces de aplicar el conocimiento teórico sobre los principios de los estratos y la datación relativa en lo que podríamos considerar un medio sedimentario.

Toma y análisis de los datos

La recogida de los datos la realizó la primera autora, empleando para ello: a) grabaciones en audio y vídeo, que posteriormente fueron transcritas, para observar detenidamente las conversaciones de los estudiantes así como su lenguaje corporal y b) los informes escritos de los grupos, para completar la información oral.

Con la finalidad de dar respuesta a la pregunta de investigación relacionada con el desempeño de la competencia científica, se han tomado como base los niveles de desempeño establecidos por la OCDE (2008) para la dimensión “explicación de fenómenos científicamente”, los cuales se han adaptado en interacción con los datos obtenidos, pues como señalan Lincoln y Guba (1985) para el análisis del discurso del aula no resulta adecuado partir de categorías predeterminadas, ya que éstas emergen en un proceso de interacción con los datos obtenidos.

Así, la rúbrica (tabla 2) se centra en dos características inherentes a las explicaciones: 1) la diversidad de ideas o conceptos científicos a los que hacen referencia y 2) la abstracción de los mismos. Entre los seis niveles que establece PISA (OCDE, 2008) hay una progresión desde el nivel 1 al nivel 6, la cual está marcada por la generación de explicaciones cada vez más complejas, es decir, incluyendo una mayor diversidad y calidad de las ideas, conceptos y modelos científicos. Siguiendo estos requisitos, la actividad analizada, “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”, demanda hasta el nivel 5 de desempeño, ya que en el modelo de los procesos sedimentarios corresponde a un modelo sencillo, que no requiere una explicación de un fenómeno integrado en un sistema, lo que correspondería con el nivel 6.

En la estructura de la rúbrica (tabla 2) la primera y segunda columna comprenden los niveles establecidos por PISA 2006 (OCDE, 2008), siendo el 1 el de menor y el 5 el de mayor nivel y las tareas que los estudiantes deben ser capaces de hacer en cada nivel, respectivamente. En la tercera columna aparecen las tareas que los estudiantes deben hacer adaptada a la actividad propuesta y, en la cuarta columna, se resumen las ideas y conceptos que los estudiantes deben emplear para alcanzar cada nivel. Las ideas indicadas en la cuarta columna se han ordenado desde los niveles 1 al 5 en función de su complejidad y grado de abstracción. Así, en un primer nivel se situarían aquellos estudiantes que únicamente organizaran los materiales según criterios como el color o la granulometría, sin hacer en ningún momento una mención explícita a la sedimentación de los mismos; en caso de que sí describiesen el proceso de sedimentación sus explicaciones se situarían en el segundo nivel. En el tercer nivel, se incluyen las ideas de sedimentación y transporte, lo cual daría una idea más compleja de cómo se depositan los materiales. En el cuarto nivel, se considerarán aquellas explicaciones que relacionen ideas de erosión, transporte y sedimentación, lo cual requiere mayor grado de abstracción, pues con los materiales proporcionados no tienen forma de representarlo y, en el último nivel, se dispondrán las explicaciones que consideren cuál pudo ser el origen de ese medio sedimentario.

De este modo, con esta tabla se quiere mostrar la relación entre los niveles que se proponen en el informe PISA para la dimensión “explicación de fenómenos científicamente” y los niveles de desempeño que se tuvieron en cuenta en el análisis de la actividad. Un siguiente paso corresponde a los niveles desempeñados por cada grupo lo cual se presenta en la rúbrica de la tabla 3 de los resultados.

Tabla 2. Niveles de desempeño de la dimensión “explicación de los fenómenos de forma científica”, adaptados a la actividad “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”

Nivel PISA 2006	Aptitudes generales que deben tener los estudiantes según, PISA 2006	Habilidades de los estudiantes durante el desarrollo de la tarea	Ideas científicas englobadas
5	Hacer uso de dos o tres conceptos científicos e identificar la relación entre ellos desarrollando explicaciones de un fenómeno en un contexto.	Hacer uso del modelo que permita explicar el origen del medio sedimentario y la deposición en él de sedimentos por procesos de erosión, transporte y sedimentación.	Cuatro procesos geológicos: Origen medio sedimentario Erosión Transporte Sedimentación
4	Comprender ideas científicas, incluyendo modelos científicos, con un nivel de abstracción significativo. Pueden aplicar un concepto general científico que incluya este tipo de ideas en el desarrollo de la explicación de un fenómeno	Aplicar tres ideas científicas (procesos geológicos) que intervienen: transporte y sedimentación y el origen de los diferentes tamaños de materiales por erosión.	Tres procesos geológicos: Erosión Transporte Sedimentación

Tabla 2. Continuación

Nivel PISA 2006	Aptitudes generales que deben tener los estudiantes según, PISA 2006	Habilidades de los estudiantes durante el desarrollo de la tarea	Ideas científicas englobadas
3	Ser capaces de aplicar una o más ideas/conceptos científicos específicos en el desarrollo de la explicación de un fenómeno	Ser capaces de aplicar cómo tiene lugar el transporte de los materiales previo a la sedimentación.	Dos procesos geológicos: Transporte Sedimentación
2	Ser capaces de recordar un hecho científico apropiado y tangible en un contexto sencillo, y pueden utilizarlos para explicar o predecir un resultado.	Ser capaces de recordar cómo tiene lugar la sedimentación en un contexto sencillo para predecir cuál será el orden más idóneo de los materiales.	Un proceso geológico: Sedimentación
1	Ser capaces de reconocer relaciones sencillas de causa y efecto cuando les dan las claves relevantes. El conocimiento que utilizan es un dato científico único que se deriva de la experiencia o que es conocido popularmente	Ser capaces de reconocer las características de los materiales y establecer un criterio para ordenarlas en un medio sedimentario, empleando experiencias cotidianas.	Orden de materiales según: Grado de erosión Color

Resultados y discusión

A continuación, se describen los resultados de la aplicación de la rúbrica elaborada (tabla 3) mostrando el nivel de desempeño logrado por cada grupo, para después hacer una breve revisión de las relaciones entre los modelos de erosión, transporte y sedimentación que cada grupo estableció para resolver el problema.

Tabla 3. Capacidades desarrolladas por cada grupo, durante la realización de la actividad, implicadas en la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, indicando el nivel más alto alcanzado por cada grupo.

Grupo	Son capaces de...	Nivel
N	Explicar los procesos sedimentarios atendiendo a los cuatro procesos: El origen del medio sedimentario a causa de la lluvia (t. 15, 20, 26) La sedimentación de los materiales según: - Tamaño (t.10, 16, 110, 111) El transporte por el agua (t.85) La erosión generada por el agua lo que origina materiales de diferente tamaño. (t. 68, 90, 93, 115, 132) Contextualizar la sedimentación en ambientes sedimentarios: - Río (t. 15,136) - Playa (t. 140)	5
H	Aplicar tres ideas geológicas en la explicación de los procesos sedimentarios: La sedimentación de los materiales según: - Tamaño (t.36) - Densidad (t.101, 102) - Fuerza del medio de transporte. (t. 135, 136) El transporte por el agua: - Río (t. 52, 58, 71) La erosión generada por el agua lo que origina materiales de diferente tamaño. (t. 44, 52, 58, 71, 86, 145) Contextualizar la sedimentación en ambientes sedimentarios: - Río (t. 36, 37,129)	4

Tabla 3. Continuación

Grupo	Son capaces de...	Nivel
G	Aplicar cómo tiene lugar el transporte de los materiales previo a la sedimentación, es decir, considerando dos procesos: La sedimentación de los materiales según: - Peso (t.87, 89) - Tamaño (t. 91, 112) - Densidad (t. 92) - Tamaño-peso (t. 93) - Tamaño-densidad (t.94, 105, 114) El transporte por: - Agua (t. 63, 65, 68, 69) - Viento (t.59, 62, 64, 66, 67, 69)	3
Ningún grupo analizado desempeña el segundo nivel como máximo desempeño de esta dimensión		
L	Establecer un criterio para ordenar los materiales en el medio sedimentario: - Grado de erosión (\approx granulometría) (t. 28, 44, 55) - Color (t.34, 37, 56, 59, 64)	1

Teniendo en cuenta esta rúbrica, se ha categorizado el desempeño de cada grupo en dichos niveles. Cabe considerar que en la tabla se muestra el nivel más alto alcanzado por cada grupo, sin embargo a lo largo de su discurso se observan diálogos en los que la complejidad de sus explicaciones los sitúa en niveles inferiores. Como se puede ver en la tercera columna de la tabla 3, el nivel 2 no fue desarrollado por los grupos analizados.

El nivel menor de desempeño, *nivel 1*, corresponde a explicaciones que se reducen a establecer un orden en el que los materiales deben ser depositados en el medio sedimentario, atendiendo a parámetros conocidos por los estudiantes que proceden de sus experiencias cotidianas.

Las explicaciones de los integrantes del grupo L se encuentran en este nivel, ya que al elaborar el modelo material no aplican ningún criterio vinculado a la sedimentación ni a la causa de que existan materiales de diferentes granulometrías. Por lo que, apelan a otro tipo de conocimiento como el “color”, lo cual no guarda relación directa con la sedimentación de los materiales en un orden concreto, y también utilizan en algún momento el término “erosión” para referirse al tamaño de los diferentes materiales. En este grupo se estableció un pequeño debate, para elegir cuál de estos criterios es el más adecuado, entre las dos chicas, quienes defendían que debían atender al color, y Luís quien defendía que era porque unos materiales están más erosionados que otros.

Loreto	t.27	“No porque esta [arena] es la que está abajo de todo”
Luís	t.28	“Y esta [arena] como es la que está fuera es la más erosionada” [...]
Loreto	t. 32	“Este [grava] de primero y éste [arena] de último”
Luís	t.33	“No esta [grava] de ultima”
Loreto	t.34	“No, porque es más oscura y cuanto más oscura más orgánico y más para abajo”
Ledicia	t.35	“Claro cuanto más oscuro más abajo”
Luís	t.36	“Esta [grava] es la que está donde los árboles”
Ledicia	t.37	“La que está arriba de todo es la que tiene colores más claros”
Luís	t.38	“Nooo, no tiene por qué, hay tierra negra, negra, negra, arriba de todo”

Debido a la insistencia de Leticia y Loreto, eligen como criterio el color, sin embargo no lo aplican de la forma adecuada, puesto que para Loreto el color muestra el contenido de materia orgánica del material, lo cual puede ser correcto, pero situaron a la grava por ser más oscura a mayor profundidad, como se muestra en los turnos 34 y 35, cuando al atribuirle una mayor proporción de materia orgánica estaría en la capa superficial en contacto con la vegetación.

En cuanto al *nivel 2*, en los grupos analizados no se han encontrado explicaciones que se encuentren en este nivel, es decir, en las que únicamente se abordase la idea de sedimentación.

El siguiente nivel, *nivel 3*, incluye aquellas explicaciones en las que se muestra una mayor comprensión acerca de cómo tienen lugar la sedimentación, englobando los procesos de sedimentación y transporte.

En este nivel, se encuentra el grupo G, que fue capaz de identificar los materiales como sedimentos. Además, durante la elaboración del modelo material aplican sus conocimientos acerca de la sedimentación, empleando varios criterios para establecer el orden de los materiales en la deposición, aplicando, finalmente, la relación tamaño-densidad:

- Gregorio t.86 “Ahora, como vais a tener esto en cuenta”
- Gloria t.87 “¿Los menos pesados estarán más arriba no?”
- Gregorio t.88 “No, pueden estar mezclados”
- Gloria t.89 “Los menos pesados estarán más arriba”
- Gregorio t.90 “Sí, si si”
- Gloria t.91 “Los que tengan menor tamaño...”
- Guillermo t.92 “Sí, los menos densos están arriba. Yo pienso que es por ser menos densos porque si los pones por aquí [la arena entre la grava] se cuelan”
- Gloria t.93 “Los que tienen menor tamaño-peso”
- Guillermo t.94 “Los que tienen tamaño-densidad”
- Gregorio t.95 “Eh, ¡no! Como vais a tener esto en cuenta...”
- Gloria t. 96 “Pues los que tengan menor tamaño-densidad estarán más arriba, en la superficie.”

Asimismo, en el momento de identificar cómo los materiales llegaron al medio sedimentario hubo dos opiniones enfrentadas, mientras que para Gregorio el agente de transporte era el viento, para Gloria era el agua, sin ningún tipo de justificación.

- Gloria t.63 “El transporte de agua”
- Gregorio t.64 “Y del viento”
- Gloria t.65 “Pero yo pienso que es del agua”
- Gregorio t.66 “Si pero el viento...”
- Guillermo t.67 “Si el transporte del viento”
- Gloria t.68 “Si pero, ¿no podría ser del agua?”
- Guillermo t.69 “Si del agua... Pero el viento que lleva. El viento lleva arena”
- Gregorio t.70 “Si, estas arenas si”
- Gloria t.71 “Bueno, el viento, ¿qué más?”

Sin embargo, como no llegaron a un acuerdo durante el diálogo, en el informe escrito decidieron escribir que el transporte puede ser por ambos medios, agua y viento.

El *nivel 4*, corresponde a las explicaciones que abordan un modelo de los procesos de sedimentación más complejo que los dos niveles anteriores, puesto que en él se incluyen las ideas de sedimentación, transporte y erosión previa de los materiales, lo cual denota un mayor nivel de abstracción. Queremos hacer notar que empleamos el término “erosión” porque adoptamos el vocabulario de los estudiantes, pero somos conscientes de que la concepción científica no es la noción adecuada, ya que los estudiantes emplean “erosión” para referirse a la fragmentación de los materiales por mecanismos como la disgregación que más bien se engloba en la “meteorización física”.

En este nivel se sitúan las explicaciones proporcionadas por el grupo H, quienes para elaborar el modelo material aplican los tres procesos: sedimentación, transporte y erosión previa de los materiales, lo cual tiene sentido para ellos ya que, inicialmente, contextualizaron el medio sedimentario en un ambiente fluvial:

Helio t. 36 “Chavales, a ver, lo de los sedimentos la cosa es así. Primero hay un río, primero lo que sedimenta son las cosas más grandes, las más finas las lleva más para adelante.”

De esta intervención se puede inferir que para Helio hay una sedimentación progresiva a lo largo de un río, de partículas de mayor a menor tamaño, lo que conduce a que ordenen los materiales siguiendo el criterio del tamaño. A continuación, explican los procesos de erosión y transporte como procesos que tienen lugar de forma conjunta a través del agua:

Helio t. 52 “Pero a ver, el agua no está en las rocas. El agua... A ver, pero el agua es el elemento de transporte y de erosión principal.”

Con este razonamiento, este grupo es capaz de comprender por qué se les suministran tres materiales con diferente granulometría, grava y dos tipos de arena. Al combinar los procesos de transporte y sedimentación, su modelo adquiere mayor complejidad y abstracción:

Helio t. 135 “La arena también, solo que la arena será depositada más tarde dependiendo de la fuerza con la que vaya el agua”

Horacio t. 136 “Va a ser transportada más tiempo”

De manera que hacen referencia a la competencia de la corriente fluvial para indicar que la arena de playa, por ser más fina va a ser transportada más tiempo, con lo cual no sedimenta. Mientras que los otros materiales se transportan menos tiempo y, por lo tanto, sedimentan antes. De ahí que el orden de las capas en su modelo material sea de abajo a arriba: grava, arena de gato y arena de playa, lo cual no entra en conflicto con sus ideas anteriores de que los materiales serían depositados por sus propiedades de tamaño y densidad. No obstante, esto denota un problema espacio-temporal en el proceso, ya que si la arena es transportada más tiempo llegará más lejos y por lo tanto no sedimentará encima de la grava ya depositada.

Las explicaciones que se sitúan en el nivel más elevado, *nivel 5*, están englobadas dentro de un modelo de los procesos de sedimentación que no sólo contempla la sedimentación, transporte y erosión, sino que a mayores incluye una explicación de cómo se origina el medio de sedimentación antes de que los materiales se depositen en él. El modelo que subyace en esta categoría es de rango mayor que los anteriores por el hecho de que requiere un mayor grado de abstracción y comprensión acerca de cómo tienen lugar el fenómeno en su conjunto.

Este nivel comprende las explicaciones del grupo N, las cuales son consideradas las de mayor complejidad puesto que las alumnas fueron capaces de aplicar un modelo que abarca desde el

origen del medio sedimentario hasta la sedimentación de los materiales, pasando por la erosión y transporte.

Estas alumnas enfocan el proceso a pequeña escala por lo que concretan que la sedimentación puede tener lugar en “*un río o un hoyo*”, como dice Nicola (t. 15) y a partir de ahí atribuyen a la lluvia la formación del medio sedimentario:

Nuria t. 20 “Primero la tierra se erosiona. Después al llover se hace un hueco”

Al igual que los integrantes del grupo H, estas alumnas consideran que las diferencias de tamaño entre los materiales que se les proporcionaron son consecuencia de la erosión. A continuación, identifican el agua como agente de transporte, aunque Noa propone que puede ser el viento, a lo que Nuria da una respuesta para hacerle ver que no pueden representar el viento en su modelo material, pero sí tienen agua para representar ese proceso:

Nuria t.85 “El agua”

Noa t.86 “El viento”

Nuria t.87 “Si pero no nos vamos a poner a soplar”

Finalmente, para explicar cómo los materiales sedimentan emplearon el criterio del tamaño, como se puede ver en estas intervenciones:

Nicola t.109 “Pero ¿cómo crees que van a quedar?”

Nuria t.110 “Primero las grandes, luego se irán haciendo más pequeñas ¿no?”

Noa t.111 “Yo creo que primero las grandes y luego se mezclará la arena de gato con la arena de playa y, por último, el agua quedará por arriba cubriéndolo todo”

Partiendo del análisis de las explicaciones generadas por cada grupo, se extraen los modelos que integran en el modelo expresado (oral y material) de los procesos sedimentarios. Como se comentó al comienzo de este artículo, el modelo que los estudiantes deben elaborar es un modelo material y analógico, de manera que nos resulta útil conocer cómo establecieron las analogías entre los elementos naturales y los elementos que se les proporcionan, lo cual se resume en la tabla 4.

En general, la analogía más evidente para los estudiantes fue la de relacionar el recipiente de plástico con el medio sedimentario, lo que no supuso ninguna dificultad. Mientras que, el hecho de buscar las analogías entre la grava, las arenas y el agua con el resto de elementos implicados en la sedimentación no resultó tarea fácil. Quizás el principal motivo por lo que esto ocurrió fue que éstos materiales fueron tomados del medio natural, por lo que al ser tan trivial resulta un poco confuso para los ellos.

Tabla 4. Analogías empleadas por cada grupo

ELEMENTOS PROPORCIONADOS	USOS DE ANÁLOGOS EN EL MODELO		
	Sin análogos	General	Concreto
Materiales (arenas y grava)	-	Sedimentos	Sedimentos
Recipiente de plástico	-	Medio sedimentario	Medio sedimentario
Agua	-	Agua	Agua del río
GRUPOS	L	G, N	H

A modo de síntesis, el diagrama de la figura 3 muestra las relaciones entre los modelos de erosión, transporte y sedimentación (representados en óvalos), y el origen del medio sedimentario representado en un cuadrado por no tener el mismo origen ontológico. Las líneas de diferentes tramas indican las relaciones establecidas por cada grupo entre los procesos, empleando una trama para cada grupo.

Siguiendo el orden de menor a mayor número de relaciones entre dichos modelos, el grupo G aplica el modelo de transporte para indicar cómo los materiales llegan al medio sedimentario (modelo de sedimentación). El grupo H, realiza unas explicaciones más complejas en las que establece la relación entre el modelo de erosión y de transporte para indicar a qué se deben las diferencias de tamaño entre los materiales y cómo son transportados hasta donde sedimentan. Finalmente, la red de explicaciones del grupo N es la más sofisticada ya que, como hemos comentado previamente generan una explicación acerca de cómo ha tenido lugar la formación del medio sedimentario en sí. De este modo, estas alumnas utilizan el modelo de erosión para explicar la formación de dicho medio, con el modelo de transporte describen cómo los materiales llegan a al medio sedimentario y, por último, comentan el modelo de sedimentación.

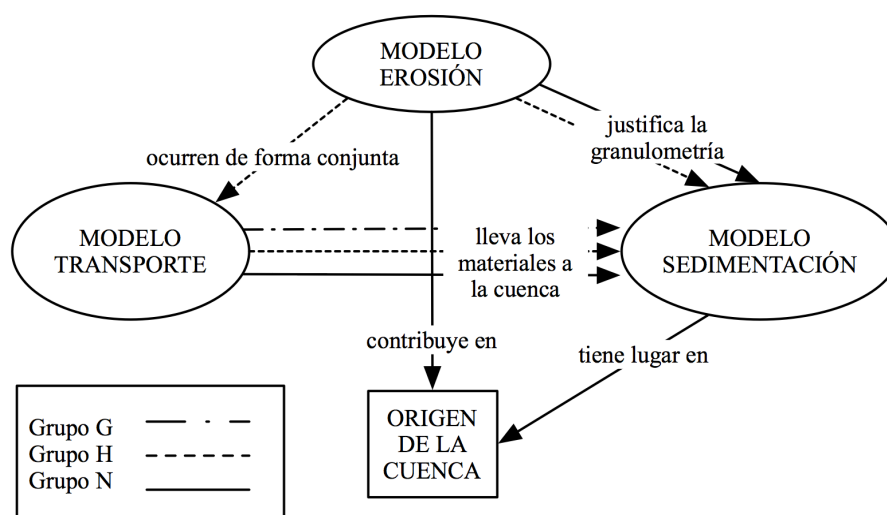


Figura 3. Modelos que cada grupo incluye en las explicaciones científicas sobre los procesos sedimentarios.

Conclusiones e implicaciones educativas

El análisis llevado a cabo nos ha permitido diferenciar los niveles desarrollados por cada grupo en función de la complejidad de los procesos con los que explicaron los procesos sedimentarios. Se puede concluir que el hecho de que alcancen mayor nivel viene condicionado por: 1) la reorganización de las ideas subyacentes en sus modelos, lo que aumentó el número de modelos empleados en esta explicación, lo cual coincide con Gilbert y Justi (2016) de que los modelos engloban otros modelos, conformando así las teorías, ello ha contribuido a mejorar el nivel de competencia para esta dimensión, 2) en los grupos que han hecho explícitos sus modelos, compartiéndolos, se aprecia una modificación de los modelos en consonancia con el de sus compañeros, bien para completarlo como para romper con algunas de sus ideas alternativas, lo cual refuerza las ventajas del uso de actividades de analogías como contexto para exteriorizar los razonamientos (Aragón, Oliva y Navarrete, 2014). De tal manera que los grupos que han elaborado el modelo dedicándole bastante

tiempo al intercambio de ideas han sido los que alcanzaron un nivel mayor de desempeño, como es el caso del grupo N, en el que las alumnas han cuestionado todas las alternativas propuestas hasta que encontraron aquella que satisfacía los modelos metales de cada una de ellas.

A nivel metodológico, una de las limitaciones del estudio radica en la adaptación de los niveles de PISA a los requerimientos de la tarea, lo cual resultó complejo pues los parámetros empleados por PISA están muy enfocados a actividades de respuesta múltiple (tipo test) y de respuestas cortas, en las que se limita la posibilidad del uso de modelos y elaboración de explicaciones por parte de los estudiantes. Esta dificultad es también señalada por las autoras Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre (2015), quienes proponen, además que el alumnado indique la respuesta correcta al ítem correspondiente, solicitar al alumnado que justifique la elección de esa respuesta lo que nos permite ahondar en los conocimientos que posee para ese tema.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, aunque la actividad sea sencilla, ofrece dos tipos de dificultades para el alumnado. Por un lado, aquellas asociadas al contenido disciplinar, puesto que no les resulta fácil integrar los procesos de erosión, transporte y sedimentación, ya que el espacio, en cuanto a extensión, en que tienen lugar estos los procesos geológicos dificulta tener una visión en conjunto (Álvarez y García de la Torre, 1996). Por otro lado, les resulta complicado aplicar sus conocimientos en la práctica de modelización, es decir, en la construcción del modelo material no siempre encontraron la forma de representar sus ideas.

Finalmente, consideramos que este tipo de análisis mediante rúbricas ayuda a comprender mejor el grado de competencia de los estudiantes en cuanto a la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”. Por lo que, como implicación educativa y desde un punto evaluativo, aplicar este tipo de rúbricas nos permite evaluar si los estudiantes han sido capaces, o no, de activar sus modelos para explicar cómo ocurren los procesos de sedimentación, así como el grado de complejidad de dichas explicaciones.

Agradecimientos

Al proyecto EDU2015-6643-C2-2-P, del Ministerio de Economía y Competitividad. A los estudiantes que participaron en el estudio y a los docentes.

Referencias

- Álvarez, R. M., García de la Torre, E. G. (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.
- Aragón, M.^a M., Oliva-Martínez, J. M., Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las ciencias*, 32(3), 337-356.
- Aubusson P. J., Fogwill S. (2006). Role play as analogical modelling in science. En: P.J. Aubusson, A.G. Harrison y S.M. Ritchie (pp. 93- 104). *Metaphor and analogy in science education* Dordrecht:Springer.
- Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique* París:Vrin [Traducción: La formación del espíritu científico, 1974, Buenos Aires: Siglo XXI]
- Braaten M., Windschitl M. (2011). Working Toward a Stronger Conceptualization of Scientific Explanation for Science Education. *Science education*, 95(4), 639-669.

- Boulter C., Buckley B. (2000). Constructing a typology of models for science education. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41–57). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Crujeiras Pérez B., Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385-401.
- Driver R., Guesne E., Tiberghien A. (1985). Children's ideas and the learning of science. *Children's ideas in science*, 1-9.
- Duit R., Glynn S. (1996). Mental modelling. En: G. Welford, J. Osborne, y P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp.166-176). UK:Farnes Press
- García-Rodeja Gayoso I., Lima de Oliveira 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.
- Giere R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach* Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert J. K., Boulter C. J. (1998). Learning science through models and modelling. En: B. J. Fraser y K. G. Toben (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 53-66). Dordrecht:Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert J. K., Boulter C. J., Elmer R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Dordrecht:Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert, J. K., Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education* Switzerland: Springer International Publishing.
- Glynn S. M., Britton B. K., Semrud-Clikeman M., Muth K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. En Glover, J.A., Ronning, R.R. y Reynolds, C.R. (Eds.), *Handbook of Creativity* (pp. 383-398). Nueva York: Plenum.
- Harrison A. G. (2008). Teaching with analogies: Friends of foes? En A. G. Harrison, y R. K. Coll (Eds.), *Using analogies in middle and secondary science classrooms* (pp. 6-21). California: Corwin Press
- Justi R., Gilbert J. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En: P.J. Aebischer *et al.* (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 119-130). Springer:Netherlands.
- Justi R. (2011). Las concepciones de modelo de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. En: A. Caamaño *et al.* (Eds.), *Didáctica de la Física y la Química* (pp.85-104). Graó:Barcelona.
- Lacreu, H. L. (1997). Transformando las rocas (Simulaciones con un modelo analógico). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(2), 124-130.
- Lincoln Y.S., Guba E.G. (1985). *Naturalistic inquiry* Beverly Hill:Sage.
- Megalakaki O., Tiberghien A. (2011). A qualitative approach of modelling activities for the notion of energy. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 9(1), 157-182
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (MECD, 2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, 3, 169-546

- Oliva, J.M., Aragón, M.^a M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. *Enseñanza de las ciencias*, 27(2), 195- 208.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2004). *Informe PISA 2003. Aprender para el mundo de mañana*.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006* Paris:Author.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2008). *Informe PISA 2006. Competencias científicas para el mundo del mañana* Madrid: Santillana
- Pedrinaci E. (2001). *Los procesos geológicos internos* Madrid: Síntesis.
- Reiser B. J., Berland L. K., Kenyon, L. (2012). Engaging Students in the Scientific Practices of Explanation and Argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8-13.
- Salmon, W. C. (1989). Four decades of scientific explanation. En: P. Kitcher y W. C. Salmon (Eds.). *Scientific Explanation* Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Schumm S.A. (1991). *To interpret the Earth: Ten Ways to be Wrong* Cambridge University Press: New York.
- Vera Torres, J.A. (1994). *Estratigrafía. Principios y Métodos* Editorial Rueda: Madrid
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (3^o ed.). London: SAGE Publications.
- Ziman J. (2003). *¿Qué es la ciencia?* Madrid: Cambridge University Press.