

FUNDAMENTOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA EN LA E.S.O. CAMBIOS EN UN SISTEMA MATERIAL

José Manuel Domínguez Castiñeiras*

Eugenio García-Rodeja Fernández*

Antonio de Pro Bueno**

María Laura Illobre González***

* Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais.
Universidade de Santiago de Compostela.

** Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
Universidad de Murcia.

*** Colegio Público de Vite. Santiago de Compostela.

Resumo

Preséntase o deseño e planificación dunha unidade didáctica para a aprendizaxe dos cambios producidos nun sistema material, no marco da Termodinámica e do Modelo cinético de partículas, como unha das aportacións da tese de doutoramento (Domínguez, 2000). Discútense os fundamentos e plantexamentos metodolóxicos, o contido disciplinar, a problemática de aprendizaxe e a secuencia dos obxectivos de aprendizaxe.

Palabras clave: educación secundaria; planificación de unidades didácticas; calor, temperatura e cambios nun sistema material.

Resumen

Se presenta el diseño y planificación de una unidad didáctica para el aprendizaje de los cambios producidos en un sistema material, en el marco de la Termodinámica y del Modelo cinético de partículas, como una de las aportaciones de la tesis de doctorado (Domínguez, 2000). Se discuten los fundamentos y planteamientos metodológicos, el contenido disciplinar, la problemática del aprendizaje y la secuencia de objetivos de aprendizaje.

Palabras clave: educación secundaria; planificación de unidades didácticas; calor, temperatura y cambios en un sistema material.

Abstract

The planing of the teaching sequence is presented. Its objective is the learning of the changes in a material sistem, in frame work of Thermodynamic and the Model of particulate nature of mather, as a part of the doctoral dissertation of Domínguez (2000). The disciplinary knowledge, the learning problems and the learning objectives sequence are discussed.

Palabras clave: secondary education; planning of a teaching sequence; heat, temperature and changes in a material system.

Introducción

El profesor que emana de la reforma educativa (XUGA, 1993) y de las nuevas ideas que aportan la investigación y la innovación en Didáctica de las Ciencias, es considerado como un profesional capaz de crear entornos de aprendizaje, a partir del contexto en el que se desarrolla su actividad, y dar respuesta a las nuevas necesidades que presenta una sociedad cada vez más compleja y cambiante. Además ha de establecer una dinámica de trabajo en la que el alumnado pueda percibir qué debe aprender y cómo debe hacerlo, y por qué y para qué dicho aprendizaje. Esto implica una evolución del papel de los estudiantes, desde una visión que los caracteriza como inertes y pasivos, hacia otra que los hace protagonistas del proceso.

El nuevo profesional necesita información que facilite su tarea. Por ello creemos que se debe difundir el proceso de diseño y elaboración de nuevas propuestas de enseñanza, lógicamente fundamentadas, que favorezcan un aprendizaje significativo de la *ciencia escolar*, cuyas características y finalidades hemos puesto de manifiesto en otros trabajos (Domínguez y Álvarez, 2001).

En este vamos a exponer algunos de los fundamentos de nuestra unidad didáctica para el *Estudio de los cambios producidos en un sistema material, desde la Termodinámica y el Modelo de partículas*. Por razones de espacio, nos ocuparemos sólo de cuatro aspectos –fundamentos y planteamientos metodológicos, determinación del contenido académico, análisis de la problemática del aprendizaje, y secuencia de los objetivos y contenidos de enseñanza– ocupándonos de otros en el siguiente artículo que se recoge en este mismo número.

1. Fundamentos y planteamientos metodológicos

Vamos a describir de forma sintetizada algunos principios que inspiran la metodología didáctica que denominamos *Actividades Abiertas (AcAb)* (García-Rodeja et al., 1994), fundamento de nuestra propuesta; diferenciaremos dos elementos: el conocimiento deseable desde la ciencia escolar y el contexto en el que debe aprenderse.

1.1. El conocimiento deseable desde la ciencia escolar

La selección y reflexión sobre los contenidos objeto de aprendizaje y su elección supone una parte esencial de la planificación de una propuesta de enseñanza, el conocimiento sobre el conocimiento a enseñar, y va a condicionar lo que queramos enseñar. La elección de contenidos en los currículos de ciencias debería orientarse para que lo que ocurra en el aula constituya una experiencia educativa en sí misma (Arnay, 1997), lo que no excluye la preparación para acceder al siguiente nivel de enseñanza. Sin embargo,

frecuentemente se piensa más en esto último como el objetivo principal y, en consecuencia, muchos de los contenidos de ciencias resultan irrelevantes para el alumnado (Claxton, 1994).

La elección del conocimiento deseable desde la ciencia escolar supone una diferenciación entre lo que es interesante y relevante del conocimiento que poseemos y lo que es interesante y relevante para el aprendizaje del alumnado (Arnay, 1997). Este proceso de *transposición didáctica* (Chevallard, 1985) esto posibilita que un objeto de saber científico pueda llegar a ser objeto de saber para enseñar. En este sentido, nuestra propuesta didáctica parte de hechos físicos familiares para los estudiantes y se abre a otras realidades (científicas, culturales...). Consideramos que aprender ciencias no sólo implica construir significados, sino también adquirir la capacidad de razonar y argumentar sobre problemas de Ciencias. Desde esta perspectiva, es necesario prestar atención a tres tipos de conocimiento (Duschl, 1997): destrezas cognitivas y de razonamiento, conocimiento epistemológico-científico, destrezas sociales y de comunicación.

Destrezas cognitivas y de razonamiento

Reconceptualizar la enseñanza de la ciencia a la luz de perspectivas constructivistas requiere revisar el papel de los problemas, experimentos e investigaciones del alumnado. La utilización de estas actividades en las clases de Ciencias debe favorecer una *forma de pensar científica* (Hodson, 1994; Duschl, 1997; Pro, 1998); los estudiantes deben ser conscientes de lo que hacen, para qué lo realizan, cómo obtener datos fiables, cómo comunicar e interpretar los resultados, etc.

También es necesario tener en cuenta que los estudiantes *piensan con teorías* y el papel que juegan éstas en la inferencia del conocimiento (Casella y Giuliani, 1999). Además, en las tareas que realice el alumnado, es necesario prestar mucha más atención a los procesos estratégicos y de interpretación, en los que el razonamiento y la argumentación adquieren un gran protagonismo en la construcción de significados.

Conocimiento epistemológico-científico

Si es importante que el alumnado utilice el lenguaje, los símbolos, los modelos y las estrategias de resolución de problemas para comprender los conceptos y teorías de la ciencia, también lo es que clarifique las normas por las cuales los científicos reflexionan y toman decisiones. Con ello, se puede introducir a los estudiantes en la epistemología de la ciencia.

Este es un proceso metacognitivo en el que el profesorado tiene el papel guía de una discusión reflexiva, en la que se hagan explícitas las diferentes posturas, se puedan comparar y contrastar y, posteriormente, decidir cuál

ofrece la mejor explicación. De esta manera, se propone hacer evolucionar la idea de conocimiento específico de una materia, desde el conocimiento proposicional -el *qué* de las ciencias- a la necesidad de justificar *su forma de trabajar* (Jiménez, 1998). Esto implica no sólo la necesidad de construir, con el alumnado, modelos y teorías sobre el mundo físico-natural, sino de usar los mismos en diversas situaciones.

Destrezas sociales y de comunicación

Si se pretende que los estudiantes aprecien la ciencia como una actividad social, es importante que conozcan cómo ha progresado la Ciencia, qué cambios ha originado en la vida cotidiana o cuáles son sus retos más prioritarios. Para ello han de recibir información sobre las prácticas actuales de los científicos, cómo se resolvieron problemas particulares de la ciencia en el pasado y cómo se dirigen las disputas en el presente; como indica Giere (1999) estos aspectos no deberían ignorarse por parte de los profesores ni tampoco ocultarse al alumnado.

Desde este punto de vista es necesario introducirles en las destrezas relacionadas con la comunicación (lectura de relatos de investigaciones, análisis e interpretación de textos, estudio crítico de noticias de prensa, redacción de informes,...) en un contexto de trabajo cooperativo.

1.2. El contexto de aprendizaje

Hay elementos contextuales que condicionan el aprendizaje. Se han de favorecer actitudes como la tolerancia, el trabajo responsable y la actividad intelectual del estudiante. Lógicamente también debemos sintonizar con sus intereses y preferencias, si queremos contar con su participación y colaboración. Además, no podemos olvidar que los estudiantes de estas edades son cognitivamente complicados y heterogéneos... Por todo ello, la organización del aula es una tarea compleja ya que debe hacer compatibles muchas variables. Vamos a esbozar nuestro posicionamiento respecto al papel del alumnado, al del docente y al clima de aula.

El papel del alumnado

Además del criterio de relevancia, ya señalado, es fundamental el principio de actividad de los estudiantes en el proceso de aprender (Cleminson, 1990). En este sentido, parece haber un acuerdo en Didáctica de las Ciencias en cuanto a que: *el conocimiento no se transmite sin más, sino que se necesita el papel protagonista del que aprende.*

Por otro lado, considerando los valores formativos de la física en estos niveles educativos (sobre todo, si hablamos de 12-14 años), las clases se han

de desarrollar integrando la “parte teórica” y la “parte práctica”, con la intención de que los estudiantes tengan la posibilidad de ir poniendo a prueba sus hipótesis, o de realizar sus propios diseños y experimentos.

Proponemos el trabajo en grupos, compartido con el quehacer individual en ocasiones. Pretendemos que se acostumbren a defender sus opiniones con argumentos, a escuchar, a compartir las tareas, a tolerar y a respetar a los demás.

El papel del docente

Es fundamental que la profesora o el profesor sean percibidos como una ayuda por sus alumnos y alumnas a la hora de aprender técnicas, destrezas, estrategias, conceptos y modelos científicos. Deben fomentar una actitud positiva hacia el aprendizaje de la Ciencia, dar apoyo a sus estudiantes cuándo y dónde lo necesiten, dar la oportunidad de que se desarrollen como personas... En definitiva, deben promocionar el aprendizaje de la ciencia.

Este papel refleja la teoría de la enseñanza como una *actuación asistida* discutida por Tharp y Gallimore (en Ollerenshaw y Ritchie, 1997), en la que el aprendizaje a lo largo de la vida de cualquier persona está hecho de lo mismo, de secuencias de zonas de desarrollo próximo (ZDP), funciones en estado embrionario que se pueden desarrollar desde la ayuda de otros hasta la propia ayuda recurriendo una y otra vez al desarrollo de nuevas capacidades (Roth, 1995; Ollerenshaw y Ritchie, 1997). El profesorado debe ajustar las diferentes demandas de dichos *embriones* al desarrollo del conocimiento de los estudiantes. Esto requiere ser un observador reflexivo todo el tiempo, aunque el proceso será más manejable si se utilizan actividades estructuradas y operativas.

Al respecto y en relación con el proceso de enseñanza, el esfuerzo del profesorado, dado que es el alumnado el que aprende, debe dirigirse a propiciar situaciones de aprendizaje de forma constante. En el aula deben darse numerosas ocasiones en las que los estudiantes tomen parte activa, tanto intelectual como manualmente, para dar respuestas a las tareas planteadas.

El clima de aula

El clima de aula es otro factor importante en el proceso de enseñanza y, en éste, juega un papel determinante los conocimientos profesionales y el estilo docente del profesorado. Debe ser agradable y relajado, ya que es fundamental que el alumnado no se sienta incómodo o ajeno a lo que se está haciendo en clase. En este sentido, hemos intentado usar actividades inteligibles, informativas y atractivas en sí mismas para los estudiantes.

Otro aspecto importante ha sido acordar inicialmente unas normas de funcionamiento comunes de manera que el docente tenga también sus obligaciones; obviamente resulta determinante que cumpla lo acordado.

Pero, hay otros muchos elementos que combinamos en los planteamientos: apoyar a los grupos mientras realizan sus actividades, y escuchar sus comentarios, cuestiones y dificultades; sin olvidar que facilitarles el aprendizaje no es sustituirlos en las tareas. Producir interacciones, tanto individuales como en grupo, para generar confianza; propiciar que los errores se vean como un requisito más para aprender; pretender en todo momento que los estudiantes sean conscientes de la importancia que tiene, para su propio aprendizaje, el trabajo que ellos mismos realizan... son aspectos fundamentales y consustanciales con nuestra propuesta de enseñanza.

2. La determinación del contenido académico

Nuestra propuesta tiene como objetivo la enseñanza de determinados conocimientos sobre Calor y Temperatura. Este tema se considera relevante en los programas de Ciencias de todos los países desde los primeros niveles y, en la Comunidad Autónoma de Galicia, se pone de manifiesto en el Bloque 5.3.7. del Área de Ciencias de la Naturaleza para la Educación Secundaria Obligatoria (XUGA, 1993); los contenidos y los criterios de evaluación se recogen en la Tabla I.

Aunque los diseñadores del currículo diferencien los contenidos en conceptos, procedimientos y actitudes, consideramos que esta división tiene un carácter pedagógico (Coll et al., 1992). El conocimiento científico integra los tres tipos y su enseñanza no debe centrarse sólo en uno de ellos (hasta ahora normalmente en el conceptual) pues se daría una imagen incompleta y distorsionada de la ciencia y, sobre todo, desperdiciaríamos muchos de los valores formativos que justifican su inclusión en los conocimientos básicos y obligatorios para cualquier ciudadano.

No obstante, la formulación amplia, abierta, y ambigua nos obliga a tomar decisiones sobre qué contenidos concretos se deben seleccionar y cuál ha de ser su secuencia a la hora de planificar nuestra propuesta didáctica (Sánchez y Valcárcel, 1993).

Por otro lado, el campo de conocimiento sobre Calor y Temperatura ha sido muy debatido desde el punto de vista científico, detectándose connotaciones problemáticas que aumentan la complejidad de su enseñanza; en consecuencia, hay que revisar algunos de los conceptos implicados.

BLOQUE 5.3.7. CLASIFICACIÓN DA MATERIA. DIVERSIDADE
<p>Conceptos</p> <p>Estados de agregación. Propiedades dos sólidos, dos líquidos e dos gases. Cambios de estado. Teoría cinética. Calor e temperatura. Equilibrio térmico.</p>
<p>Procedimentos</p> <p>Elaboración e interpretación de táboas, esquemas, gráficos, etc. Consulta de fontes de información escrita. Utilización adecuada do instrumental e aparellos de laboratorio, tendo en conta os erros que se poidan cometer. Deseño e realización de experiencias sinxelas que poñan de manifesto o comportamento dos gases. Construcción de termómetros e realización de medidas de temperatura en diversas situacións. Técnicas de observación e toma de datos de fenómenos observados e experiencias realizadas. Selección dun fenómeno observable e establecemento dunha hipótese explicativa. Formulación dun modelo teórico que permita explicar as propiedades máis importantes dos estados de agregación da materia. Interpretación por medio da teoría cinética dalgún fenómeno que ocorra habitualmente. Elaboración de informes sobre os traballos feitos e realización de debates.</p>
<p>Actitudes</p> <p>Valoración da investigación científica como medio de coñecemento, o seu carácter non dogmático e a súa provisionalidade. Interese pola observación dos fenómenos naturais. Interese na realización correcta das experiencias, recollida de datos, confección de informes, etc. Coidado e respecto polo material e instrumentos de laboratorio. Valoración da importancia da pulcritude na realización de tódolos traballos, tanto propios como alleos. Interese na utilización de modelos, e a súa confrontación cos feitos empíricos.</p>
<p>Bloque 5.5. Avaliación</p> <p>Aplica-la teoría cinética para explicar fenómenos: os cambios de estado, a dilatación e a propagación da calor... Trátase de avaliar se os alumnos e as alumnas, mediante a teoría cinética, son capaces de interpretar fenómenos como os cambios de estado, a dilatación, etc. Que a calor é un mecanismo de transferencia de enerxía, sendo a temperatura o indicador do nivel enerxético.</p>

Tabla I

Calor y Energía

Existe una predisposición a pensar en el calor como algo sustancial, lo que constituye una de las barreras conceptuales más importantes para el aprendizaje (Erickson y Tiberghien, 1989). Es necesario clarificar dicho concepto sobre cuyo significado está viva la controversia en la propia comunidad científica. Uno de los problemas a superar es el uso de la palabra calor, pues incluso termodinámicos experimentados *meten calor en los cuerpos* (Domínguez, 2000).

Por otra parte Hierrezuelo y Montero (1989) no están de acuerdo con la desaparición de la palabra calor, desde un punto de vista didáctico; proponen que lo mejor es la reinterpretación de su significado -*calor y trabajo son energías iguales que la energía interna, pero los dos primeros son energía en tránsito*- por eso proponen que se utilicen ambos conceptos para deshacer el equívoco sobre el calor. Esto dificulta aún más las cosas pues afirman que calor y trabajo son formas de energía, que aleja el significado de ambos términos del que le confiere la ciencia.

Levine (1995) arroja luz sobre la discusión definiendo el concepto de calor: *es una transferencia de energía entre el sistema y su entorno, debido a una diferencia de temperatura. Calor y trabajo son formas de transferencia de energía.* Calor y trabajo no son funciones de estado, luego no tiene sentido preguntar cuánto calor (o trabajo) tiene un sistema. El calor y el trabajo están definidos en términos de procesos. Antes y después del proceso de transferencia de energía entre el sistema y su entorno, el calor y el trabajo no existen.

Además dicho autor clarifica dichos procesos desde un punto de vista mecanicista con ayuda de la teoría cinético molecular. *El trabajo es una transferencia de energía debida a la acción de fuerzas desde el punto de vista macroscópico. El calor es una transferencia de energía debida a la acción de fuerzas a nivel molecular. Cuando cuerpos de temperatura diferente se ponen en contacto, las colisiones entre sus moléculas provocan una transferencia de energía desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor; el calor es trabajo realizado desde el punto de vista molecular.*

El lenguaje cotidiano induce a confusión entre la energía que tiene el sistema (energía interna) y la forma de transferirla entre sistemas a diferentes temperaturas (calor). La expresión *energía térmica* incluye los aspectos de la energía interna relacionados con la rotación, traslación y vibración de moléculas (Erickson y Tiberghien, 1989).

Temperatura

Respecto a la temperatura parece existir una mayor unanimidad. Macroscópicamente es un parámetro intensivo que se utiliza para describir el estado de un sistema; además, condiciona el sentido de la transferencia de energía entre sistemas hasta alcanzar el equilibrio térmico (Weast y Astle, 1982-83; Valcárcel et al. 1990).

Desde el punto de vista microscópico está *relacionada directamente con la energía cinética molecular media* (Levine, 1995). Esta definición será utilizada para interpretar fenómenos como el incremento de temperatura, la dilatación y el cambio de estado.

2.1. Los esquemas de razonamiento y de acción deseables desde la Ciencia escolar

Realizadas las matizaciones respecto a los conceptos más relevantes de nuestra propuesta, vamos a representar los esquemas de conocimiento que queremos que activen nuestros alumnos y alumnas desde la perspectiva de la Ciencia escolar (Domínguez, 2000). Hemos distinguido cuatro esquemas de razonamiento y cuatro esquemas de acción. En dichos esquemas se hacen explícitos los conceptos y sus relaciones -el saber que se declara- y los procedimientos -el cómo se sabe y el saber hacer- que serán útiles para seleccionar y secuenciar los contenidos objeto de aprendizaje y para la evaluación del mismo.

Esquema de razonamiento: incremento de temperatura

Por medio de este esquema (Figura 1) se hace explícita la estructura por la que se identifica e interpreta, desde el punto de vista termodinámico, el incremento de temperatura que tiene lugar en un sistema, el cuerpo, cuando recibe energía desde una fuente, el mechero.

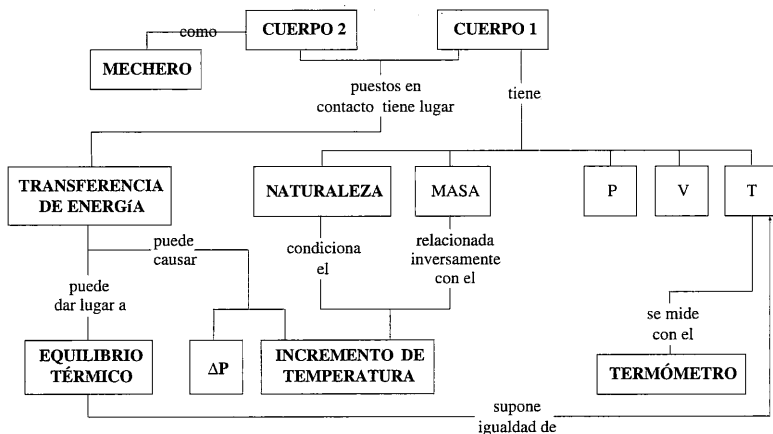


Figura 1

Esquema de razonamiento: modelo cinético de partículas

Describimos, a continuación, el esquema de razonamiento (Figura 2) en el que se hace explícito un modelo cinético de partículas para interpretar la variación de temperatura, de volumen y de presión (en los gases), que tiene lugar en un sistema cuando recibe energía.

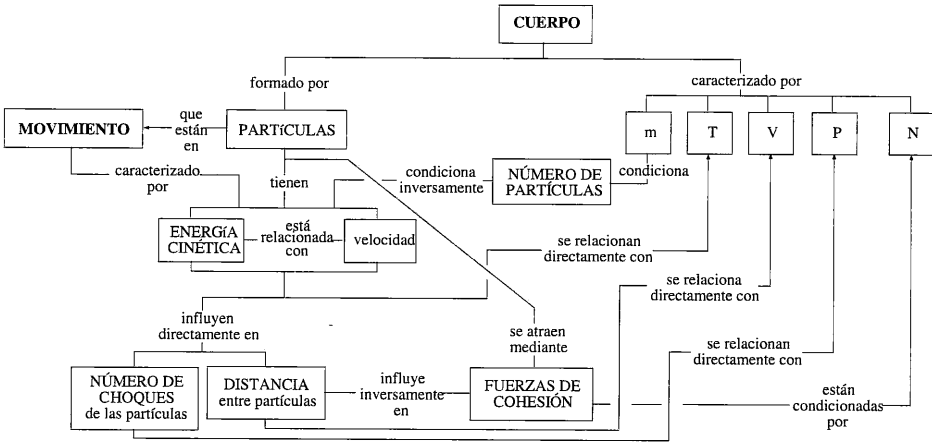


Figura 2

Esquema de razonamiento: dilatación

Se ilustra en la Figura 3 el esquema deseable para justificar la dilatación del sistema. Aparecen integrados elementos termodinámicos y del modelo cinético de partículas.

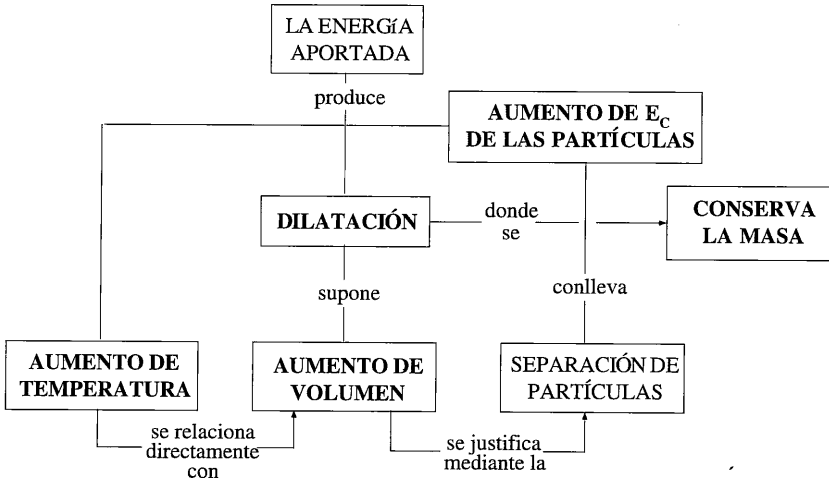


Figura 3

Esquema de razonamiento: cambio de estado

Mediante este esquema de razonamiento (Figura 4) se transfiere el conocimiento a la identificación e interpretación del fenómeno de cambio de estado. Como en el caso anterior, se solapan elementos de la interpretación termodinámica con los del modelo cinético de partículas.

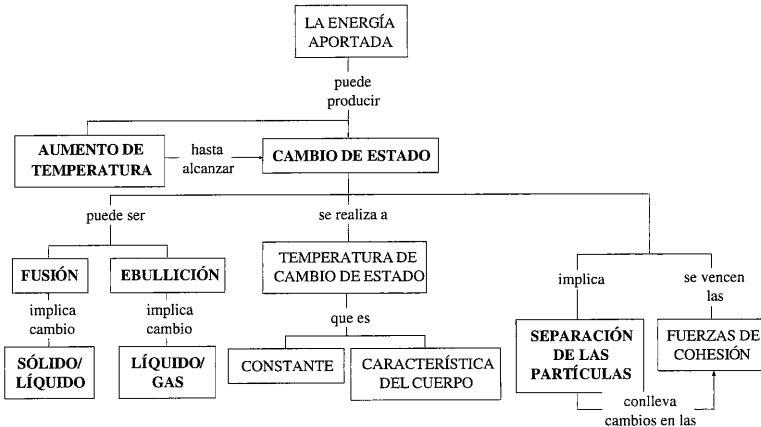


Figura 4

Esquema de acción: medida de la temperatura

En este esquema de acción (Figura 5) se hace explícita la integración de conceptos, técnicas y destrezas; en este caso la medición de la temperatura del sistema con un termómetro.

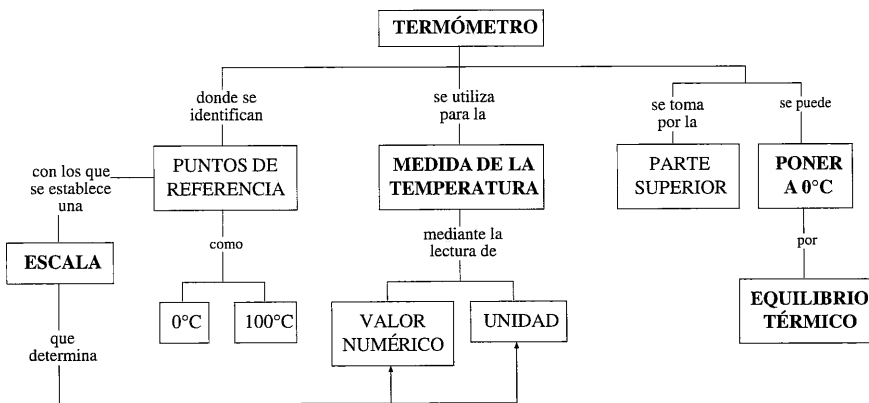


Figura 5

Esquema de acción: representación gráfica

Este esquema (Figura 6) integra el conocimiento relacionado con la representación gráfica de valores. Se pueden distinguir aspectos contextuales (variables, ejes, cero), relacionales (pares de valores, correspondencias) e inferenciales (extrapolaciones, trazos de ramas, establecimiento de dependencias).

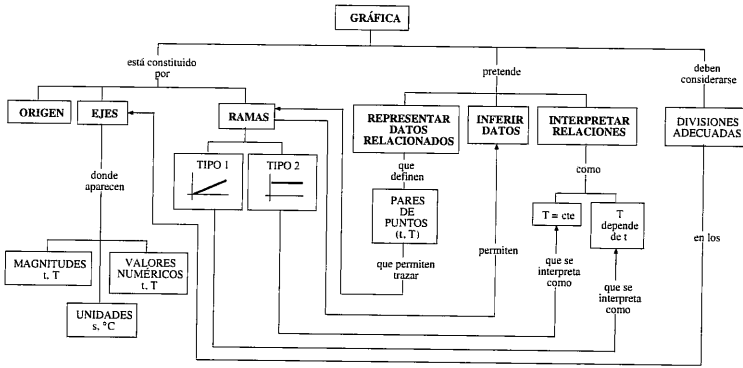


Figura 6

Esquema de acción: relación entre variables

Se describe el esquema (Figura 7) sobre la relación entre las variables implicadas en los cambios del sistema cuando recibe energía desde la fuente. Ello supone la identificación de las mismas, el reconocimiento explícito o implícito de su posible variación y de sus relaciones.

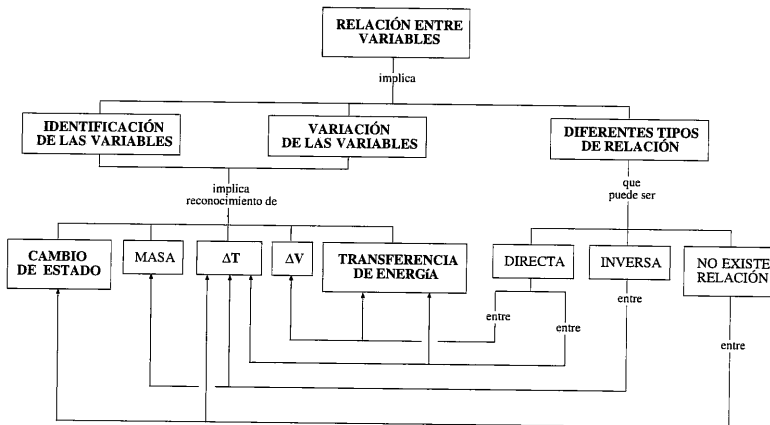


Figura 7

Esquema de acción: diseño experimental 1

Este esquema de acción (Figura 8) integra conceptos, técnicas y destrezas necesarias para diseñar una estrategia que permita comparar la elevación de temperatura de dos sistemas de distinta naturaleza, agua y aceite, que reciben la misma energía.

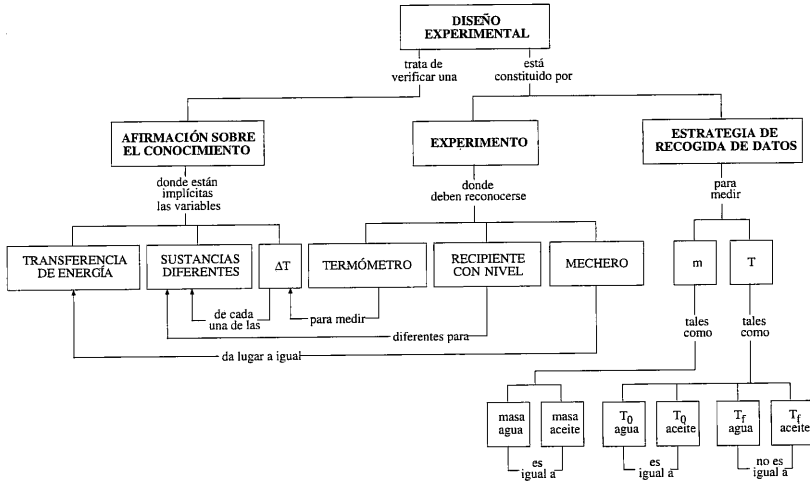


Figura 8

Esquema de acción: diseño experimental 2

En este caso el esquema (Figura 9) representa el diseño experimental para verificar que al aportar energía a un sistema, aceite, su temperatura se estabiliza en el cambio de estado.

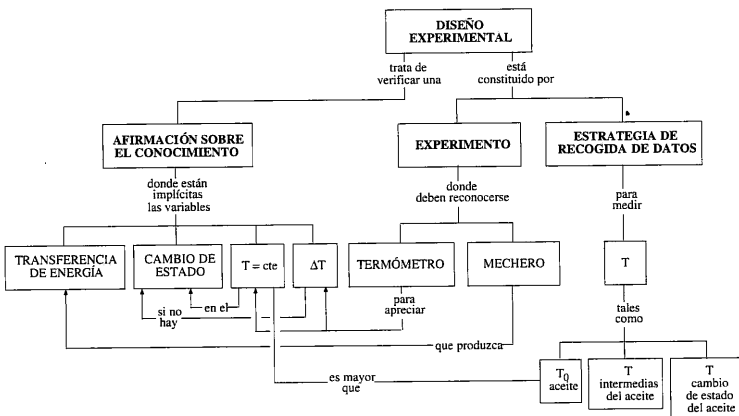


Figura 9

2.2. Los contenidos actitudinales

En el currículo oficial (XUGA, 1993), se insiste en la importancia, que compartimos, de aprender actitudes que son consustanciales con este área de conocimientos. Sin embargo, uno de los principales problemas que tiene el término actitud es la clarificación de su significado.

Nosotros asumimos la idea de que las actitudes son predisposiciones permanentes a actuar de una determinada manera en diferentes situaciones. Es decir, creemos que no sólo se trata de conocimientos con un componente afectivo sino que también existen factores cognoscitivos, afectivos, conductuales, etc. que precisan de intervenciones intencionadas en el aula para su aprendizaje (Fishbein y Ajzen, 1980).

Existen diversas taxonomías (por ejemplo, la de Coll et al., 1992; Vázquez y Manasero, 1995...); nosotros nos ocupamos de algunas actitudes científicas y actitudes hacia la ciencia.

Actitudes científicas

Son valores y actitudes humanas que se forman al practicar la actividad científica. Constituyen las adhesiones de los estudiantes hacia características o atributos de los científicos que se consideran deseables en los estudios que realiza.

En nuestra propuesta didáctica se puede poner énfasis, por ejemplo, en el deseo de conocer e indagar; en el interés por la búsqueda de datos y su significado; en la formulación de hipótesis y en la elaboración de estrategias que permitan su contraste; en la valoración de la argumentación como proceso de justificación y fundamento de hechos y acontecimientos; etc.

Actitudes hacia la ciencia

Incluyen creencias, percepciones, posicionamientos y afectos de los estudiantes hacia la ciencia y el trabajo de los científicos. También pueden considerarse aspectos que derivan de la propia epistemología del conocimiento científico.

En la propuesta didáctica se pueden fomentar, por ejemplo, la valoración de la importancia de los modelos en la Física, la provisionalidad y el no-dogmatismo en los conocimientos científicos, la adopción de una postura crítica ante la imagen pública de la ciencia y su repercusión social, etc.

3. El análisis de la problemática del aprendizaje

Es incuestionable la importancia del que aprende en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Queremos hacer aquello que tantas veces se dice y pocas se hace: *adaptar la enseñanza a las capacidades de los alumnos a los cuales va dirigida*. En consecuencia, a la hora de diseñar nuestra propuesta didáctica, debemos tener en cuenta las características de los estudiantes, en nuestro caso alumnas y alumnos de 12-14 años. A este respecto se hacen explícitos: el conocimiento de los estudiantes antes de la intervención, las exigencias cognitivas que demandan los contenidos procedimentales objeto de aprendizaje y las dificultades en cuanto al aprendizaje de las actitudes.

3.1. Los conceptos y modelos de los estudiantes antes de la intervención

Es abundante la investigación sobre dificultades de aprendizaje de los estudiantes relacionadas con la descripción macro y microscópica de los sistemas cuando interaccionan termodinámicamente.

La descripción macroscópica del sistema y de sus cambios

Muchos trabajos confirman la persistencia de ideas alejadas de la ciencia escolar (se pueden encontrar revisiones realizadas por Brook et al., 1984; Cervantes, 1987,...); hemos resaltado, por razones de espacio, sólo algunas en la Tabla II, III y IV; una bibliografía más completa se puede consultar en Domínguez (2000).

En el dominio conceptual que nos ocupa las palabras *calor*, *calentar*, *enfriar*, *caliente*, *frío*, etc forman parte del vocabulario de los niños desde las edades más tempranas. Son usadas en la descripción de situaciones familiares y muchos estudiantes construyen una serie de concepciones sobre la naturaleza y comportamiento de los objetos fríos y calientes que les rodean. Así, elaboran con el verbo calentar y sus derivados expresiones ambivalentes, para indicar no sólo que el mechero da calor al sistema, sino también para manifestar que éste incrementa su temperatura. De esta manera, *Calor* adquiere, para el alumnado, diferentes significados: es sensación, es temperatura, es un fluido, etc.

Por otra parte la evidencia de la sensación, el tacto, dificulta la conceptualización de la temperatura y, sobre todo, el reconocimiento del equilibrio térmico si los objetos son de diferente naturaleza (por ejemplo, madera y metal).

Hemos analizado dificultades relacionadas con la descripción macroscópica del sistema y de sus cambios termodinámicos. Podemos quedarnos aquí y el

Conceptos	Concepciones de los estudiantes	Fuentes documentales
Temperatura	Sinónimo de calor o relacionada con niveles o grados de calor.	Erickson y Tiberghien, 1989 Valcárcel et al., 1990
	Como una cualidad del material: por ejemplo, los objetos de metal son fríos por naturaleza, mientras que los de madera son calientes.	Domínguez, 2000 Erickson y Tiberghien, 1989
	Algunas sustancias tienen una temperatura característica: por ejemplo, el hielo tiene siempre 0°C.	Valcárcel et al., 1990
	No se considera la temperatura como un parámetro intensivo. Al resolver el problema cuantitativamente, se percibe como un parámetro extensivo: por ejemplo, cuando se mezcla un litro de agua a 20°C con igual volumen de agua a la misma temperatura, se considera que la temperatura final de la mezcla la suma de las temperaturas iniciales, 40°C.	Domínguez, 2000 Driver y Rusell, 1982 Stavy y Berkovitz, 1980 Valcárcel et al., 1990
	Existen dificultades con el uso del termómetro.	Domínguez, 2000
Equilibrio térmico	Cuando tocan objetos de la habitación en la que se encuentran, no son conscientes de que están en equilibrio térmico. La explicación que dan a sus sensaciones son del tipo: los metales atraen el frío o pierden su calor en contacto con el aire que los rodea, o los metales son fríos por naturaleza.	Domínguez, 2000 Erickson y Tiberghien, 1989
	No hacen explícito el término equilibrio térmico. Así, por ejemplo, en el caso de dos cubitos de hielo de diferente masa sacados del congelador, manifiestan que sus temperaturas serán iguales porque la masa no influye y la temperatura del hielo es de 0°C.	Erickson y Tiberghien, 1989 Valcárcel et al., 1990
	Cuando se trata de un mismo material al que no se puede atribuir una temperatura límite, por ejemplo dos clavos de hierro de diferente masa que se introducen en un recipiente con agua hirviendo, consideran que la temperatura será mayor para el tornillo de mayor masa. En el caso de materiales diferentes la temperatura dependerá del tipo de material. Indican, por ejemplo, que los objetos de metal están más fríos que los de madera.	Erickson y Tiberghien, 1989 Valcárcel et al., 1990
	Encuentran que a partir de los 11 o 12 años, cuando se estudia lo que sucede al sumergir una bola de acero caliente en agua fría, se pone de manifiesto que el calor pasa de un cuerpo al otro y se acepta que la bola acabará a la misma temperatura que el agua.	Domínguez, 2000

Tabla II

Conceptos	Concepciones de los estudiantes	Fuentes documentales
Calor y variación de la temperatura	Establece una relación causal entre la fuente calorífica y el objeto afectado; es decir reconoce el proceso de calentar y enfriar. El calor se asocia con el estado de un cuerpo; se habla del grado de calor en un continuo que va desde el frío al calor pasando por la "tibiaza". Para justificar por qué los cuerpos están calientes o fríos piensan en el sustantivo, <i>calor</i> , como algo contenido en el cuerpo (sistema) y que se puede almacenar: cuanto más calor tiene el cuerpo más caliente estará. La entidad <i>calor</i> tiene la propiedad de calentar el material y, en su ausencia, estará frío. A menudo <i>el frío</i> es también otra entidad que tiene la de enfriar: el calor calienta y el frío enfría. La mayoría de los alumnos y alumnas que almacenan el calor o el frío, no consideran que estos tengan masa.	Erickson y Tiberghien, 1989 Domínguez, 2000
	Para describir la transferencia de calor de un objeto a otro, o en el interior de un objeto, se atribuye al calor la propiedad de moverse y se justifica dicho movimiento: le dota de una fuerza motriz inherente o la propiedad de desplazarse por sí mismo.	Erikson y Tiberghien, 1989 Domínguez, 2000
	Para explicar por qué unos objetos se calientan más que otros en contacto con la misma fuente, se le atribuyen propiedades como <i>fuerte/débil</i> : si el calor es fuerte penetra en el objeto y si es débil no es capaz de penetrar; en otros casos, las características <i>fuerte/débil</i> se atribuyen al objeto a través del que se mueve el calor.	Erikson y Tiberghien, 1989
	En ocasiones se relaciona calor con la fuente calorífica; otras se identifica con la temperatura como si fueran sinónimos; o se hace referencia a que es una forma de energía o cantidad de energía que poseen los cuerpos, confundiendo calor con energía interna.	Valcárcel et al., 1990 Domínguez, 2000
	Tres puntos de vista: - El <i>modelo infantil</i> , por el que se relaciona el calor con la temperatura, forma y tipo de sustancia del cuerpo. Por ejemplo, los cuerpos grandes son más fríos y contienen menos calor, o que los metales son fríos por naturaleza. - El <i>modelo calórico</i> sostiene que el calor es una sustancia, comparable a un fluido o a un gas, que pasa de un cuerpo a otro. - El <i>modelo cinético</i> que considera que el calor es el grado de agitación molecular de un cuerpo y que, durante la transferencia de calor por contacto, esta agitación se transfiere de un cuerpo a otro.	Domínguez et al., 1998 Erikson y Tiberghien, 1989

Tabla III

Conceptos	Concepciones de los estudiantes	Fuentes documentales
Dilatación	Parece que no existen dificultades para relacionar la dilatación con el incremento del volumen del sistema. Pero sí surgen cuando interpretan la dilatación al calentar un cuerpo: en unas ocasiones por la adición del calor, entendido como calórico, en otras por el aumento de la cantidad de sustancia que constituye el sistema.	Erickson y Tiberghien, 1989 Domínguez et al., 1998 Domínguez, 2000
Cambio de estado	No se acepta que la temperatura del agua se mantenga constante durante el cambio de estado. Aunque se sabe que el hielo funde a 0°C y que el agua hierve a 100°C, esto no significa que esa temperatura no pueda ser mayor o subir durante el proceso: se considera que sería superior a 100°C si se incrementa el número de mecheros; y que a menos agua corresponde mayor temperatura de ebullición.	Valcárcel et al., 1990 Domínguez, 2000
	Son frecuentes los que se refieren a que la temperatura de cambio de estado es la más alta que puede alcanzar la sustancia. Esto conduce a la creencia de que por encima de dicha temperatura (100° C en el agua) se <i>estropea</i> y lo que hay después ya no es agua. Se considera el cambio de estado como un proceso en el que no se mantiene la naturaleza de la sustancia.	Hierrezuelo y Montero, 1989 Valcárcel et al., 1990 Domínguez, 2000

Tabla IV

docente puede hacerlo; pero, ¿por qué privar a los alumnos y alumnas de la posibilidad de alcanzar cuotas superiores de elaboración del pensamiento físico?

El modelo cinético de partículas y su capacidad interpretativa

Son muchos los trabajos (Tabla V) que han identificado las dificultades que tienen los estudiantes para aplicar un modelo de partículas, deseable desde la ciencia escolar; algunas revisiones de investigaciones así lo han puesto de manifiesto (por ejemplo, las de Driver et al, 1984; Nussbaum, 1989...). Como indicábamos antes, una bibliografía más completa se puede consultar en Domínguez (2000).

Se puede inferir de lo anterior que, con la introducción del modelo cinético de partículas, aparecen nuevas dificultades de aprendizaje que los estudiantes habrán de superar. No obstante, nosotros hemos aceptado el reto de introducir el modelo cinético de partículas en el tratamiento del tema calor y temperatura. No lo hemos hecho sin fundamento; la investigación en didáctica de las ciencias experimentales así parece recomendarlo.

Los estudiantes aprenden y usan modelos desde una edad temprana y se ha promovido su aprendizaje en la educación primaria y secundaria, *porque*

Conceptos	Concepciones de los estudiantes	Fuentes documentales
Modelo de Partículas	Se atribuyen a las partículas comportamientos macroscópicos. Existe la creencia de que en los cuerpos fríos las partículas están en reposo y que dejan de moverse al llegar a 0°C. En algunos casos llegan a pensar que en los cuerpos fríos las partículas están juntas en el centro del cuerpo y que, cuando se calientan, se dispersan hacia la periferia, como si de un gas se tratase.	Nussbaum, 1989 Posada, 1993 Stavy, 1990 Domínguez et al., 1998
	Asimilan aspectos del modelo cinético con matices. Por ejemplo, en la dilatación, consideran que las partículas aumentan de tamaño. Para los gases hay quienes creen que un globo lleno de aire incrementa su volumen al elevar su temperatura porque entra aire que aumenta el número de partículas. En los cambios de estado son las partículas las que se funden o evaporan.	Furió y Hernández, 1983. Domínguez, 2000
	Encuentra la existencia de cinco niveles en los modelos explicativos, que van desde lo continuo hasta que incorpora cuatro componentes (partículas, vacío, movimiento e interacciones). Para ellos, los esquemas evolucionan unidimensionalmente desde lo macroscópico a lo microscópico	Benarroch, 1998.
	Los estudiantes muestran desde una edad temprana bastante familiaridad con ideas corpusculares. Se ponen de manifiesto esquemas preatomísticos o atomísticos en los niños, ya que aluden de forma natural a granos, polvo, partículas o trozos para justificar la mayoría de sus explicaciones.	Benarroch, 1998 Schauble et al., 1991
	Estudiantes que habían estudiado la teoría corpuscular, pensaban que el gas se componía de partículas invisibles, sabían que existe espacio vacío entre éstas, que su estado intrínseco era de movimiento y explicaron la licuefacción del aire como consecuencia de la deceleración y unión de partículas.	Nussbaum, 1989
	Pueden usar la teoría cinética para explicar fenómenos en una correspondencia simple con el modelo. Por ejemplo, relacionar la separación de las partículas con una mayor vibración de ellas, lo que supone que ocupen más espacio.	Shayer y Adey, 1986 Stavy, 1990
	Acepta que el movimiento de las partículas crece con la temperatura; más difícil es asimilar que el movimiento disminuye cuando baja la temperatura.	Mitchell y Kellington, 1982
	Cuando aplica el modelo a gases, se incluye la componente cinética. Pero en los sólidos o líquidos, se utiliza es un modelo estático: a baja temperatura las partículas están en reposo y en el centro del sistema; cuando se incrementa, se desplazan hacia la periferia pero, una vez allí, vuelven a estar en reposo.	Domínguez, 2000

Tabla V

tienen poder explicativo y ayudan a comprender cómo funcionan las cosas (National Research Council, 1996).

Nussbaum (1989), declara que uno de los principales objetivos educativos de la mayor parte de los currículos de ciencias de los cursos superiores de la enseñanza básica consiste en que los estudiantes logren entender el modelo de partículas de la materia, pues, en la ciencia actual, *la noción fundamental de que toda materia está compuesta por partículas y no es continua es de primordial importancia para toda explicación causal de cualquier tipo de cambio material.*

Missoni (1985), coincide en señalar las dificultades que en el aprendizaje de la Termodinámica, como en otras áreas, originan los preconceptos y las generalizaciones; el estudio del calor y de la temperatura a partir de experimentos calorimétricos *es muy pobre. La ayuda de un modelo microscópico puede mejorar la construcción de significados.*

El esquema de razonamiento *modelo cinético de partículas* (Figura 2) representa las relaciones que pretendemos que el alumno active a partir del modelo que se les proporciona.

3.2. Las exigencias cognitivas de los contenidos procedimentales objeto de aprendizaje.

Además de los problemas que generan las ideas de los alumnos, no es menos importante considerar las exigencias cognitivas de los contenidos implicados. A este respecto, hemos tenido en cuenta los estudios de Shayer y Adey (1986), que nos han permitido determinar en qué nivel de desarrollo cognitivo se encuentran los alumnos de 12-14 años para adecuar la propuesta a sus características psicoevolutivas.

En la Tabla VI se analiza la adecuación a la demanda cognitiva, presuponiendo que nuestros alumnos y alumnas estén comprendidos entre los niveles concreto avanzado y formal inicial. No obstante, hemos de indicar que, respecto a tal adecuación, compartimos las ideas de Hodson (1994) y Dusch (1997) cuando señalan el peligro que corremos con una lectura sesgada de los resultados de estos trabajos: *prescolarizar todos los niveles de enseñanza.* En efecto, cuando se defiende la adecuación cognitiva, es muy fácil desposeer de todo tipo de contenidos un determinado programa; pero no se debe olvidar que hay que tratar de que los estudiantes aprendan ciencias.

Contenidos procedimentales	Adecuación a la edad del alumnado
<i>Destrezas de investigación</i>	Resulta más adecuado plantear actividades en las que los estudiantes elijan una hipótesis explicativa de un acontecimiento, entre varias propuestas, y justificar su elección, que pedirles una sin ninguna ayuda. Se deben hacer explícitos los criterios para elaborar tablas y gráficas. Se debe dirigir a los estudiantes a percibir las regularidades en sus representaciones y ayudarles a hacer las inferencias correspondientes; por ejemplo, a que relacione la línea de pendiente positiva con el incremento de temperatura frente al tiempo; y la de pendiente cero con el valor constante de la temperatura en el cambio de estado.
<i>Relación entre variables</i>	Se deben utilizar preferentemente relaciones directas entre dos variables o relaciones de causa-efecto sencillas (energía transferida/incremento de temperatura, dilatación del sistema/separación de partículas...)
<i>Control y exclusión de variables</i>	No van a relacionar el incremento de temperatura, con las variables energía transferida, masa y naturaleza de la sustancia, ($Q = m c_e \Delta T$). Les resultará más fácil relacionar el ΔT con cada una de las variables por separado, con experiencias independientes; incluso llegarán a conceptualizar, cualitativamente, el calor específico como una característica de la sustancia.
<i>Destrezas para la medida</i> <i>Equilibrio de los sistemas</i>	Los estudiantes pueden aprender a usar el termómetro y a interpretar gráficas tiempo/temperatura, pero la ayuda del docente va a ser necesaria. Pueden llegar a interpretar el equilibrio térmico entre sistemas debido a un intercambio de energía entre ellos. Esto les va a permitir entender el funcionamiento del termómetro y aceptar el intercambio de energía con la fuente. Al mismo tiempo podrán aceptar el carácter intensivo de la temperatura (invarianza de la misma cuando se mezclan cantidades en equilibrio térmico)
<i>Cálculos matemáticos</i>	Pueden trabajar con operaciones elementales -suma, resta, multiplicación y división- aunque condicionados por el tipo de número. Pueden usar relaciones funcionales sencillas, aunque no sean capaces de deducirlas; podrían realizar cálculos en calorimetrías.
<i>Conservación</i>	Aunque es posible que comprendan la igualdad de temperaturas tras la transferencia de energía, les resulta muy complicado descubrir que la cantidad total de energía en un sistema cerrado permanece constante.
<i>Profundidad de interpretación, de pasajes descriptivos</i>	Los estudiantes pueden percibir una información secuenciada. Por ejemplo: Transferencia de energía $\Rightarrow \Delta T \Rightarrow$ cambio de estado $\Rightarrow T = \text{cte}$. Sin embargo les resulta más fácil trabajar los pares separadamente. Por ejemplo: Transferencia de energía $\Rightarrow \Delta T$. $\Delta T \Rightarrow$ aumento de volumen. Aumento de volumen \Rightarrow dilatación
<i>Uso de modelos</i>	Los estudiantes no van a descubrir el modelo; es el docente el que se lo ha de proporcionar, enseñarles a trabajar con él y demostrar su utilidad. Son capaces de aplicarlo para razonar sobre lo real; pero debe ser uno sólo, en el que se usen relaciones 1:1 entre variables: Partículas con masa. Partículas con volumen. Partículas en continuo movimiento. Movimiento con energía cinética. Temperatura con energía cinética de las partículas. Incremento de temperatura con incremento de la E_c de las partículas. Incremento de volumen con aumento de la distancia entre partículas. Cambio de estado con separación de las partículas. También se nos advierte que suelen considerar el modelo como algo verdadero y no hipotético, por lo que hemos de insistir continuamente en el aspecto funcional del mismo.

Tabla VI

3.3. Dificultades en el aprendizaje de las actitudes

Tampoco en este ámbito los estudiantes llegan como una *tábula rasa*; han desarrollado un conocimiento actitudinal, en su casa, con sus amigos, en el colegio, etc. que no es fácil cambiar (Fishbein y Ajzen, 1980). Sin embargo, creemos que las mayores dificultades respecto al aprendizaje de estos conocimientos tienen su origen en el cambio metodológico que está implícito en los nuevos planteamientos que queremos introducir en el aula de Ciencias.

Los cambios actitudinales son lentos y requieren un período de adaptación, tanto de los alumnos y alumnas como del profesorado (Coll et al. 1992). Estas modificaciones de conductas no son inmediatas pues requieren muchas y nuevas experiencias y situaciones de aprendizaje. Desde luego, siempre nos ha llamado la atención los resultados expuestos en algunas investigaciones en las que se ponen de manifiesto “cambios espectaculares en las actitudes” con la mera introducción de algunos elementos anecdóticos...

Por otro lado, dadas las características de los alumnos de estas edades, no es fácil que perduren en el tiempo las conductas inherentes a las actitudes científicas y hacia las Ciencias que anteriormente reseñamos. Las razones de esta poca permanencia o de la escasa significación de su aprendizaje son muy variadas: unas veces por falta de nuevos conocimientos y experiencias; otras por factores contextuales de tipo social o familiar; otras porque sus exigencias, quizás, están más allá de sus posibilidades, etc. Lo cierto es que habrá que insistir intencionadamente en nuestra secuencia de actividades para que realmente los estudiantes lleguen a interiorizarlas.

4. La secuencia de los objetivos de aprendizaje.

De la integración de nuestros análisis anteriores, se derivan un sin fin de consecuencias que afectan a la selección y secuenciación de contenidos, a los obstáculos que tenemos que superar para enseñarlos, a nuestro papel y el de nuestros alumnos y alumnas en el proceso, etc. No queremos terminar este artículo sin resaltar, por lo menos, una serie de objetivos que, desde nuestros análisis, deben considerarse en la secuencia de actividades; así, por ejemplo, creemos que nuestros alumnos deben:

- Identificar la temperatura como un parámetro intensivo y útil para diferenciar cuerpos que están a diferente temperatura.
- Usar adecuadamente el termómetro. Relacionar diferentes escalas de temperatura y reconocer distintos tipos de termómetros.
- Describir los procedimientos más utilizados para elevar la temperatura de los cuerpos.
- Relacionar el aumento/disminución de temperatura con la transferencia de energía.

- Dar significado al concepto de equilibrio térmico.
- Construir el significado de calor como proceso de transferencia de energía entre cuerpos a diferente temperatura.
- Relacionar el aumento/disminución de temperatura con la masa y la naturaleza de la sustancia.
- Dar significado al concepto de temperatura por medio de un modelo cinético de partículas.
- Justificar la variación de temperatura, la dilatación y el cambio de estado, mediante un razonamiento fundamentado en un modelo cinético de partículas.
- Adquirir destrezas relacionadas con el registro sistemático de datos por medio de la elaboración de la correspondiente tabla de datos t/T y la representación gráfica derivada.

De esta relación de objetivos, referidos a conceptos y procedimientos, pudiera inferirse que nuestra intención educativa se reduce a la enseñanza de los mismos. Nada más lejos de dicha intención, pues, tal como hemos indicado a lo largo de este trabajo, consideramos que nuestra propuesta ha de fomentar -cuando nuestras alumnas y nuestros alumnos practican la actividad científica- una educación estimuladora de todas sus capacidades y, de este modo, aquellas actitudes que consideramos deseables para la formación de las personas en una sociedad democrática:

- *Disposición crítica y actitud interrogante*: fomentando la puesta en duda de la validez de afirmaciones sin fundamento; la búsqueda de contradicciones en afirmaciones y conclusiones, y de evidencias para apoyar o contradecir las explicaciones; la consulta de fuentes fiables cuando se busca información; así como también el planteamiento de múltiples preguntas sobre qué, dónde, cuándo, cómo y por qué ocurren las cosas.
- *Opinión reservada y respeto por la evidencia*: mediante el requerimiento de que las explicaciones se adecúen a los hechos; de que se generalice sólo hasta el grado justificado por las pruebas disponibles; de la recogida de la mayor cantidad de datos y de la consulta de varias fuentes (textos, publicaciones periódicas, gente) para verificar o refutar las afirmaciones y explicaciones.
- *Tolerancia, honestidad, imparcialidad y voluntad para cambiar de opinión*: considerando y evaluando las ideas y el trabajo presentados por otros; comunicando las observaciones aún cuando contradigan las hipótesis; teniendo en cuenta toda la información disponible (no sólo aquella parte que apoya las hipótesis) en el examen de las diferentes caras de un problema, así como en la consideración de las varias soluciones posibles del mismo; reconociendo que el conocimiento es incompleto y fomentando la modificación de hipótesis mediante la evaluación de evidencias que las contradicen.

Como es obvio, estos objetivos de aprendizaje pueden materializarse de muchas formas en el aula. Una de ellas, la nuestra, se recoge en el siguiente trabajo de este número de Adaxe.

Agradecimientos

A la DGES, la financiación del proyecto (PB98-0616)

Referencias Bibliográficas

- Arnay, J. (1997). Reflexiones para un debate sobre la construcción del conocimiento en la escuela: hacia una cultura científica escolar. En Rodrigo, M.J. y Arnay, J. (comp). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona: Paidós.
- Benarroch, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- Brook, A.; Briggs, H.; Bell, B.; Driver, R. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Full Report*. CLIS Project. Universidad de Leeds.
- Casella, A.; Giuliani, G. (1999). *Scientific Thought and Common Sense*. 5th International History, Philosophy and Science Teaching Conference & 8th European Physical Society History and Physics Teaching Conference. Como-Pavia.
- Cervantes, A. (1987). Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 66-70.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: Le Pensée sauvage
- Claxton, G. (1994). *Educuar mentes curiosas. El reto de la ciencia en la escuela*. Madrid: Visor.
- Cleminson, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 429-445.
- Coll, C.; Pozo, J.I.; Sarabia, B.; Valls, E. (1992). *Los contenidos en la Reforma*. Madrid: Santillana.
- Domínguez, J.M. (2000). *Evolución de las formas de hacer y de pensar sobre un sistema material, en el marco de la Termodinámica y del Modelo de Partículas. Estudio mediante esquemas de acción y de razonamiento*. Tesis de Doctorado. Servicio Publicaciones de la USC.

- Domínguez, J.M.; Álvarez, V. (2001). La formación inicial del profesorado de Física y Química, de Educación Secundaria, en la Universidad de Santiago de Compostela. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 81-96.
- Domínguez J.M.; Pro, A.; García-Rodeja, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de Calor y Temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), 461-475.
- Driver, R.; Brook, A.; Briggs, H. (1984). *Aspects of Secondary Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter*. CLIS Project. London: Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Universidad de Leeds.
- Driver, R.; Rusell, T. (1982). *An investigation of the ideas of heat, temperature and change of state of children aged between 8 and 14 years*. London: University of Leeds and Chelsea College.
- Duschl, R.A. (1997). *Renovar la Enseñanza de las Ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid: Narcea.
- Erickson, G.L.; Tiberghiem, A. (1989). Calor y Temperatura. En Driver, R. et al. *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: MEC/Morata.
- Fishbein, M; Ajzen, I. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. New Jersey: Prentice Hall.
- Furió, C.; Hernández, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), 83-91.
- García-Rodeja, E.; Lorenzo, F. M.; Domínguez, J.M. (1994). *Proyecto AcAb Física. Actividades Abiertas para una Enseñanza Integrada de la Física*. Santiago de Compostela: Servicio Publicacións da USC.
- Giere, R.N. (1999). Didáctica de la ciencia basada en el agente. Roles para la filosofía de la ciencia y las ciencias cognitivas. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, 5-7.
- Hierrezuelo, J.; Montero, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Barcelona: LAIA/MEC.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Jiménez, M^a.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 203-216.
- Levine, I.N. (1995). *Fisicoquímica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Missoni, M. (1985). Problemi relativi all'insegnamento/apprendimento della termodinámica. *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra, p. 53.
- Mitchell, A.C.; Kellington, S.H. (1982). Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish Integrated Science Course. *European Journal of Science Education*, 4 (4), 429-440.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.

- Nussbaum, J. (1989). La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa. En Driver R. et al. *Ideas Científicas en la Infancia y la Adolescencia*. Madrid: Morata/MEC.
- Ollerenshaw, Ch.; Ritchie, R. (1997). *Primary Science. Making it work*. London: David Fulton Publishers.
- Posada, J.M. (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 12-19.
- Pro, A. (1998). ¿Se pueden enseñar contenidos procedimentales en las clases de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 21-41.
- Roth, W.M. (1995). *Authentic School Science. Knowing and learning in open-inquiry science laboratories*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Sánchez, G.; Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de unidades diácticas en el área de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 33-44.
- Schauble, L.; Klopfer, L.E.; Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 859-882.
- Shayer, M.; Adey, P. (1986). *La Ciencia de enseñar Ciencias*. Madrid: Narcea.
- Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.
- Stavy, R.; Berkowitz, B. (1980). Cognitive conflicts as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education*, 64, 679-692.
- Valcárcel, M.V.; Pro, A.; Banet, E.; Sánchez, G. (1990). *Problemática Didáctica del Aprendizaje de las Ciencias Experimentales*. Murcia: Secretariado de Publicaciones de la UM.
- Vázquez, A.; Manassero, M.A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: una revisión conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (3), 337-346.
- XUGA (1993). Decreto 78/1993, de 25 de febrero, polo que se establece o currículo da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. DOG 63, de 2 de abril.
- Weast, R.C. y Astle, M.J. (1982-83). *Handbook of chemistry and Physics*. 63RD Edition. Florida (USA): CRC Press. Inc.