



## CAMBIO CONCEPTUAL Y ENSEÑANZA DE LA FÍSICA. APLICACIONES EN EL MARCO DE LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN

MANUEL MONTANERO FERNÁNDEZ (\*)

ÁNGEL LUIS PÉREZ RODRÍGUEZ (\*)

MARIBEL SUERO LÓPEZ (\*)

MANUEL MONTANERO MORÁN (\*)

**RESUMEN.** En este trabajo se aborda la problemática del cambio conceptual en la enseñanza de la Física, desde una perspectiva teórica y aplicada. Desde el punto de vista teórico, se desarrolla una breve síntesis del debate actual sobre las teorías implícitas. Desde el punto de vista aplicado, se analizan algunas orientaciones didácticas para promover la interacción entre el conocimiento científico y cotidiano, en el marco de la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein. Así mismo, se ofrecen los resultados de un amplio estudio donde se contrasta empíricamente los efectos de nuestra propuesta en el cambio conceptual de alumnos de 4º de ESO.

### INTRODUCCIÓN

La investigación sobre la construcción de teorías implícitas en el aprendizaje de la Ciencia ha suscitado un intrincado debate que todavía continúa vigente. Sin ánimo de simplificar demasiado las principales posturas de dicho debate, podríamos distinguir, en primer lugar, dos enfoques fundamentales que parten de muy diferentes presupuestos.

En primer lugar, cabría señalar un enfoque «atomista», que se ha limitado a estudiar el contenido semántico de las preconcepciones alternativas en diversas disciplinas científicas, sin ocuparse de encontrar un sustrato común que les atribuya una cierta organización o consistencia

interna, cuando se aplican en situaciones y contextos diferentes (Driver, Guesne, Tiberghien, 1986). Podríamos decir que el análisis «atomista» aborda, de forma aislada, los componentes semánticos de dichas teorías: los pseudoconceptos (Vygotsky, 1978) o «categorías ad hoc» de carácter difuso, que los sujetos generan a partir de diferentes influencias procedentes de la actividad espontánea, la instrucción formal o el aprendizaje informal.

Por el contrario, un segundo enfoque, de carácter más «molecular», agruparía trabajos diversos que tienen como referencia el estudio de los procesos inferenciales que las sustentan y que se utilizan con contenidos y contextos semejantes formando «micro-teorías», con una estructura

(\*) ICE. Universidad de Extremadura.

representacional más o menos «consistente» y funcionalidad esencialmente diferente a las científicas, lo que supone admitir una cierta «heurística», unas reglas de inferencia con componentes sintácticos y pragmáticos (figura 1).

En un sentido amplio, toda teoría supone una representación más o menos abstracta de ciertos aspectos de la realidad para poder explicarla o predecirla. La construcción de teorías sobre algunos fenómenos físicos responde a necesidades funcionales de organización de nuestro mundo que están presentes desde los primeros años de vida. Están constituidas fundamentalmente por explicaciones causales, implícitas y muy simplificadas, que sustentan conocimientos procedimentales (Karmiloff-Smith, 1992), útiles para la vida cotidiana (Claxton, 1987). Un niño de 2 años «sabe», por ejemplo, que si balancea su cuerpo en un balcón puede caer. Su teoría física le sirve sobre todo para hacer esta predicción, fundamentada en una explicación causal implícita. La razón por la cual las teorías espontáneas se construyen sobre explicaciones causales se deriva de la misma necesidad psicológica de controlar, en lo posible, esos acontecimientos (Pozo y cols., 1992).

Mientras que las teorías implícitas se elaboran generalmente a partir de simples relaciones causales como la del ejemplo anterior, con una estructura de tipo lineal (donde el fenómeno se explica en virtud de una única causa que genera el cambio en la realidad física observada), en las teorías oficiales de la ciencia prevalece un análisis de la realidad como «estado», definido por la interacción de sistemas. Epistemológicamente, estas teorías se conforman sobre estructuras de carácter múltiple, que mantienen una relación recíproca o cíclica entre las variables implicadas (a menudo expresable matemáticamente en una ley).

Ahora bien, independientemente de su naturaleza más o menos implícita, la entidad «teórica» y «molecular» de estas

preconcepciones implica una consideración estable y consistente de su estructura re-presentacional, que hasta ahora ha tenido una relativa constatación empírica. En el ámbito de la Dinámica, hemos comprobado, en este sentido, que casi la mitad de los alumnos de 4º de la ESO razona de manera consistente con ciertas teorías implícitas (Suero y cols. 1991). En las respuestas verbales ante diversas situaciones cotidianas que plantean la aplicación del «principio de acción y reacción», un 4% aplica correctamente los conocimientos científicos y en torno a un 40% elabora explicaciones consistentes con dos hipótesis causales, de carácter lineal, y tres criterios que especifican la aplicación de cada una de estas hipótesis a la percepción del fenómeno (Montanero, 1994; Montanero, Suero y Pérez, 1995).

#### **COMPONENTES SINTÁCTICOS Y PRAGMÁTICOS DE LAS TEORÍAS IMPLÍCITAS**

En el marco de ese nivel de análisis «molecular», el estudio cognitivo de las teorías implícitas se ha realizado desde dos enfoques conceptuales sensiblemente diferentes. En primer lugar, desde una postura constructivista, se ha partido del supuesto de que ese sustrato común de las preconcepciones deriva del funcionamiento operacional del sujeto (Piaget y García, 1973; Shayer y Adey, 1984). Se trata pues de una visión negativa de dichas teorías, como resultado de una capacidad inferencial limitada por el razonamiento «concreto» del individuo; por las dificultades de comprensión y cuantificación de las relaciones proporcionales y probabilística, inherentes a gran parte de los conceptos y magnitudes científicas; por los déficits de control sistemático de las variables, así como de la atención a varias fuentes de información a la vez; por las dificultades para comprender conceptualmente los fenómenos no directamente observables de conservación (en sistemas de equilibrio).

En segundo lugar, la influencia de otros enfoques, como el sociocultural, e incluso conexionista, ha generado nuevas líneas de análisis tanto de las representaciones implícitas como del *cambio conceptual* de las mismas (Pozo, 1997). Frente al estudio de las estructuras cognitivas que condicionan la competencia lógica del individuo, recientemente se tiende más bien a situar las teorías implícitas en relación a la construcción episódica del conocimiento en un dominio particular, que se actualiza dinámicamente en diversos *modelos mentales* en función del tipo de escenario sociocultural (Rodrigo, 1997).

Un modelo mental es una representación cognitiva, más o menos implícita, de carácter episódico y pragmático, muy próxima a la imagen mental, pero no sólo definidas por parámetros icónicos y espacio-temporales, sino también, causales, motivacionales e incluso afectivos (Johnson-Laird, 1983; Tapiero y Otero, 1999). Estas representaciones «mimetizan» en nuestra memoria operativa la estructura espacio-temporal y causal de los objetos y sucesos que percibimos, de forma dinámica y global. En este sentido, aunque la construcción de modelos mentales no es en absoluto incompatible con la existencia de otro tipos de representaciones «esquemáticas» en la memoria a largo plazo, lo cierto es que las inferencias que realizamos a partir de los mismos no se derivan únicamente de esquemas activados a partir de la observación de la realidad. También las expectativas sobre elementos episódicos y vínculos causales que explican los cambios en el fenómeno físico, están implicados en su reconstrucción cognitiva.

La estabilidad y consistencia que caracteriza a las teorías implícitas no es pues incompatible con el enfoque de los modelos mentales (Pozo, 1999, p. 515). Los modelos se construyen situacionalmente a partir de la activación conjunta de ciertos «trazos», empaquetados en la memoria a largo plazo, y que reflejan la estructura de

las teorías implícitas. Cada *escenario de aprendizaje* (cotidiano, escolar o científico) proporciona, además, un «entorno espacio-temporal que contiene un rico entramado de personas con intenciones, motivos y metas, que realizan tareas significativas para la cultura y que, siguiendo determinados formatos interactivos y tipos de discursos, *negocian* una representación compartida del contenido de las mismas» (Rodrigo, 1997). Este entramado condiciona la activación de determinados modelos mentales y la realización de diferentes tipos de inferencias a partir de ellos.

En un *escenario cotidiano*, las inferencias tienden a ser de carácter fundamentalmente inductivo y asociativo. Están, por tanto, amenazadas por una sobreestimación o distorsión de esos factores situacionales, derivados del procesamiento de características irrelevantes del contexto en que se desarrollan los fenómenos observados. Sin embargo, estos sesgos no se tienen en cuenta en la construcción del modelo teórico que se demanda en el *escenario escolar o científico*.

Algunos de esos sesgos situacionales que afectan a las explicaciones causales son la *accesibilidad* (según la cual, se constata una tendencia a tomar como causa más probable de un fenómeno aquella que es más accesible a nuestra memoria, en función de su «recencia», «frecuencia» o «saliencia»); la *contigüidad* (por la que se tiende a apreciar una relación causal entre dos fenómenos meramente continuos en el tiempo); la *semejanza* (por la que se interpreta que la causa más posible es aquella más semejante a los efectos observados) y la *parsimonia* (según la cual, solemos manifestar una económica tendencia a establecer una causalidad mínima, enfatizando unas causas por encima de otras). Esta última distorsión está íntimamente ligada a las anteriores: la accesibilidad, semejanza o distintividad de una causa, no sólo le otorga más relevancia, sino que tiende a disminuir el valor psicológico de las concurrentes (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989).

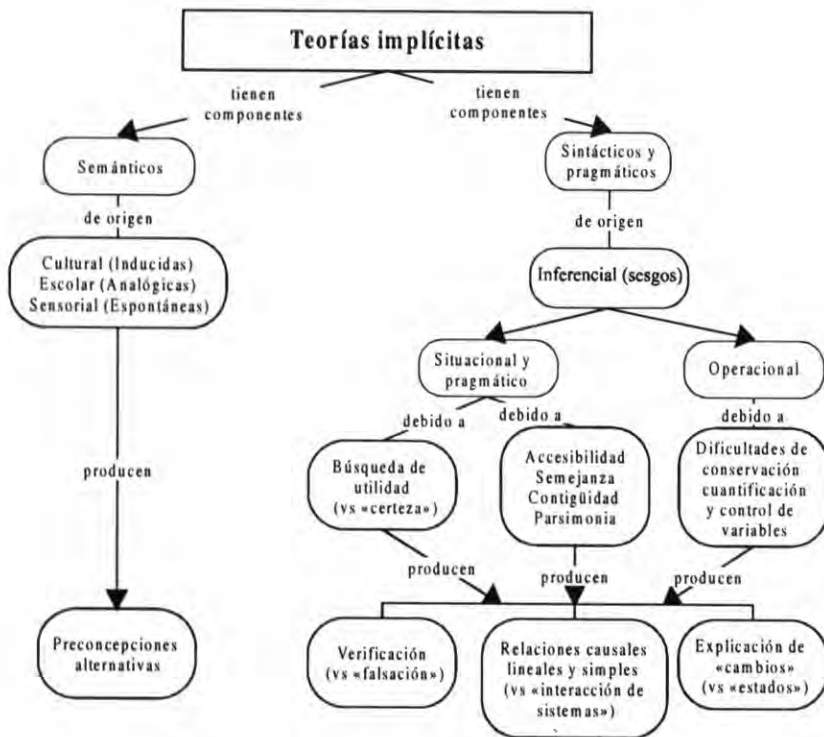
Todas ellas se traducen en una tendencia a inferir relaciones causales simples y lineales, cuando se observa un fenómeno físico, en detrimento de situaciones de interacción «sistémica» en ambos sentidos.

Esta organización de las variables en los modelos mentales dificulta, en consecuencia, la comprensión de los «cambios» observados como una sucesión de estados que se conservan y reequilibran constantemente, así como las relaciones «legales» que sustentan muchos principios y teorías científicas.

Con todo, estos sesgos no están únicamente condicionados por los *mecanismos* cognitivos de construcción del conocimiento cotidiano, sino sobre todo por las *metas* y demandas funcionales del escenario en que se negocian los diversos modelos.

En el escenario cotidiano, nuestra representación de la realidad sirve ante todo para la «supervivencia», y por tanto se asientan en la predicción y la utilidad (Claxton, 1987). No están orientadas, como las científicas, hacia una búsqueda intelectual de la certeza. De ahí su falta de coherencia lógica y su tendencia verificacionista, que inhibe toda estrategia de *falsación*. Aunque, lógicamente, la incapacidad para aplicar el esquema de control de variables, reduce las posibilidades del sujeto a la hora de *falsar* las supuestas causas que explican un fenómeno, la verificación como método de inducción de las afirmaciones de la teoría implícita tiene sobre todo un origen motivacional, dado que permite una predicción eficaz (aunque por supuesto no exacta) de los fenómenos físicos cotidianos. (figura 1)

FIGURA 1  
Componentes y sesgos de las teorías implícitas



En la figura 1, esquematizamos una visión integradora de los diversos componentes que acabamos de desarrollar en torno a la naturaleza de las teorías implícitas. En definitiva, para este segundo enfoque es el sustrato epistemológico que estructura el conocimiento cotidiano en escenarios socioculturales (compartidos por otras personas que ya han construido su conocimiento) el aspecto que mejor explica la contraposición entre las teorías científicas e implícitas. Un mismo alumno puede conformar diferentes modelos mentales que explican los fenómenos físicos, en función de si se encuentra en un escenario académico (más formal y científico) o personal (informal e implícito).

De todas formas, «la activación contextual de teorías alternativas no es incompatible con la necesidad de un *cambio conceptual*» (Pozo, 1997, p. 169), entendido éste como el cambio no sólo del contenido semántico de las representaciones, sino también de los procesos inferenciales que la educación debe promover y que permiten construir modelos mentales compartidos en el escenario escolar y científico:

*Una visión radicalmente situada o contextualizada del aprendizaje de la ciencia nos llevaría a negar la posibilidad o necesidad de la transferencia de lo aprendido a nuevas situaciones o contextos (...), y por tanto convertiría en una tarea socialmente inútil el enseñar ciencia a futuros no-científicos*  
(Pozo, 1999, p. 517).

La «redescripción» causal y, sobre todo, «legal» inherente a la construcción de los modelos y teorías científicas supone un proceso de abstracción y *explicitación* de los conocimientos físicos. Parece difícil que este proceso sea posible más allá de un escenario escolar, con una ayuda consciente y sistematizada por parte del profesor, para conseguir que los alumnos transformen los modelos mentales de la realidad física que inevitablemente construyen durante el aprendizaje (Rodrigo y Correa, 1999).

Generalmente se ha enfatizado la facilitación de *conflictos cognitivos* (Pozo, 1989) como el principal objetivo de la mediación del profesor. El *conflicto* comienza cuando el alumno comprueba que su teoría previa lleva a predicciones que no se cumplen (conflicto factual), a partir de un *estado psicológico* de incertidumbre e insatisfacción respecto de la predicción o explicación de un fenómeno (Posner y col., 1982); y culmina cuando el alumno toma conciencia de sus ideas, las verbaliza y contrasta e interrelaciona con otras versiones alternativas (conflicto conceptual).

Desde un enfoque pragmático, es necesario tener en cuenta también otra serie de condicionantes. En un escenario escolar el sujeto debe construir un conocimiento explícito y metacognitivo a partir de un modelo implícito (generado en un escenario cotidiano). Ello requiere, por un lado, una toma de conciencia en profesores y alumnos de los ingredientes del escenario escolar (motivaciones, discurso apropiado, formato de las tareas), así como de cada uno de los modelos teóricos que suponen el punto de referencia para una «redescripción» más explícita y metacognitiva del modelo mental de alumno. Por otro lado, es necesario un trabajo sistemático de interrelación entre el cotidiano y científico (contrastando y reelaborando diferentes modelos en ambos escenarios, de modo que se puedan integrar o redescribir entre sí) para que el cambio conceptual no afecte sólo a éste último.

#### **EL CAMBIO CONCEPTUAL EN EL MARCO DE LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN**

Desde el punto de vista psicopedagógico, el problema estriba en cómo operativizar e integrar este nuevo enfoque sobre el cambio conceptual dentro de la metodología y las actividades que el profesor desarrolla en el aula. En este sentido, la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein (1983, 1987) ofrece un marco muy apropiado,

basado en una original propuesta de secuenciación «en espiral» de los contenidos.

Como es conocido, Reigeluth justifica la importancia de secuenciar los contenidos y actividades de enseñanza-aprendizaje sobre dos análisis fundamentales: la reflexión sobre el *contenido organizador* y los diferentes *niveles de elaboración* en que deben vertebrar la secuencia de aprendizaje. Cada uno de estos niveles comienza con una «visión panorámica» (o epítome) de los contenidos más generales que posteriormente se pretende desarrollar con detalle. El epítome sintetiza aquellas ideas más generales en un mismo nivel que se retoma y consolida cada vez que se profundiza un poco más en los contenidos, de modo que las relaciones de conjunto siempre priman sobre los contenidos específicos del mismo. El alumno lo identifica como partes de un todo estructurado, puesto que la explicación del profesor describe una especie de «espiral» que no los agota, uno a uno, en su primera presentación. Cada una de estas fases de acercamiento del «zoom» al contenido específico de la materia supone pues un nivel mayor de elaboración de aquel epítome inicial.

Por otra parte, cada epítome es un contenido de enseñanza en sí mismo, estructurado en torno a un *contenido organizador*; como ya hemos dicho, pero sobre todo presentado en un nivel de aplicación lo más práctico posible. Aquí reside la mayor dificultad de su confección, por cuanto el alumno necesita un primer conocimiento experiencial y concreto de todo el conjunto, que sirva de anclaje para las posteriores profundizaciones en la jerarquía conceptual de la materia. Cada vez que culminemos una fase más de profundización («elaboración»), deberemos insistir en las relaciones que presenta con el plano general de conjunto, con lo que éste se enriquece y extiende. Se trata del «epítome ampliado». Al final de los sucesivos epítomes obtendremos, por tanto, un «epítome final», donde aquella dimensión fundamentalmente práctica del primero aparece ya reformulada con múltiples relaciones

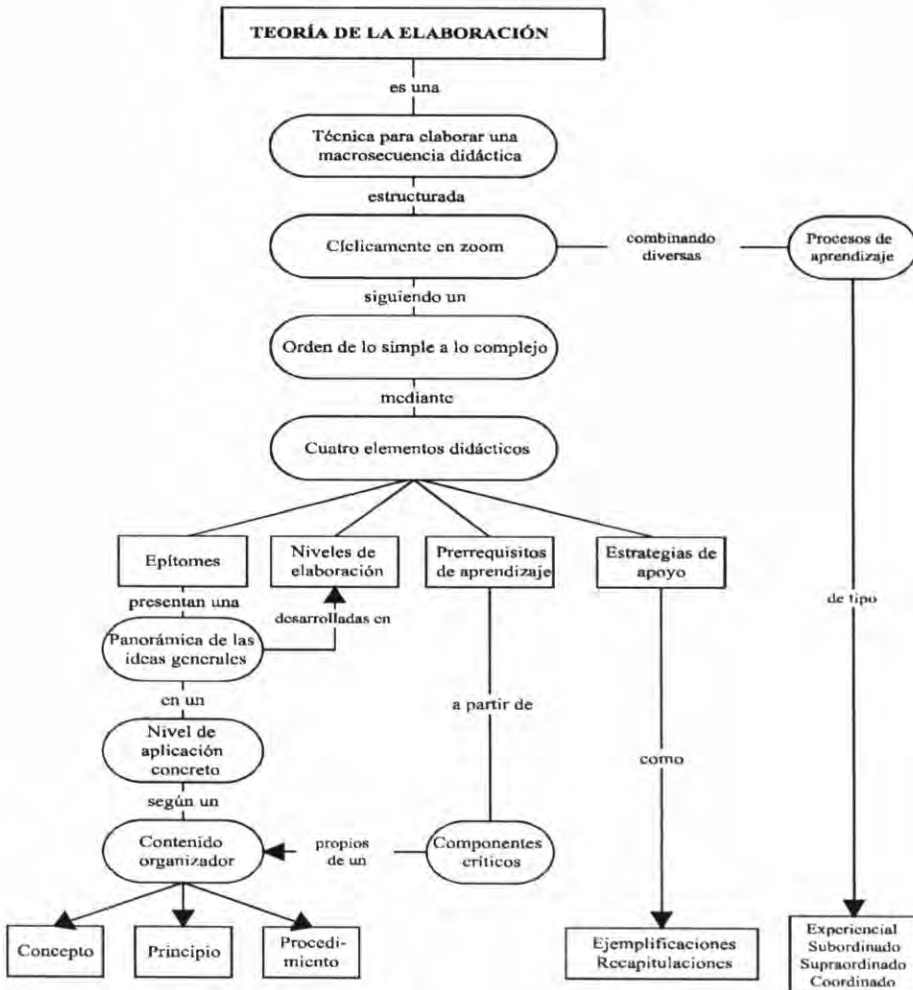
semánticas (más abstractas) que ha ido ganando en el proceso. En el siguiente esquema (figura 2) sintetizamos los principales componentes didácticos de la teoría de la elaboración.

La teoría de la elaboración contiene, en definitiva, aportaciones de gran interés para la secuenciación de contenidos en los diseños curriculares (Coll, 1987; Coll y Rochera, 1990). En el marco de la enseñanza de la ciencia, ofrece además un soporte teórico para propiciar ese progresivo encuentro entre el escenario cotidiano y científico que requiere el tratamiento de las teorías implícitas. Sin embargo, no tiene en cuenta cómo diseñar los procesos y estrategias que conducen al cambio conceptual, en materias donde este aspecto tiene tanta relevancia, como ocurre en la Física.

Para operativizar este objetivo, la innovación que hemos propuesto se fundamenta en la consideración de *los fenómenos físicos (en lugar de los conceptos o principios) como un nuevo contenido organizador* de las secuencias de enseñanza-aprendizaje. Desde nuestro punto de vista, el planteamiento de los fenómenos físicos como eje que vertebra la secuencia de instrucción, es el mejor recurso para facilitar el enriquecimiento de los conocimientos construidos por el alumno, desde el escenario cotidiano hacia el escolar y científico; así como para incidir sobre los *sesgos inferenciales* (véase de nuevo la figura 1) que intervienen tanto en las explicaciones causales que el alumno elabora sobre dichos fenómenos, a lo largo de toda la secuencia elaborativa. Esta hipótesis se asienta sobre tres consideraciones generales:

- En primer lugar, la *construcción del epítome a partir de los fenómenos físicos* que se van a abordar, no sólo promueve el *conocimiento experiencial* (de acuerdo con uno de los presupuestos de la teoría de Reigeluth), sino que garantiza además un «contexto de descubrimiento»,

FIGURA 2  
Componentes didácticos de la teoría de la elaboración  
(tomado de Montanero y cols., 1999)



fundamental para la generación de conflictos empíricos y conceptuales, desde los primeros momentos del proceso de aprendizaje. Tomando como ejemplo un diseño didáctico sobre Termodinámica, el epítome inicial podría centrarse en los fenómenos de dilatación y cambio de estado que experimentan los cuerpos al variar su temperatura. Para que el alumno sea capaz de

transferir su modelo de la realidad al escenario científico es necesaria, no obstante, una reflexión y explicitación de los diferentes *modelos teóricos subyacentes* a los contenidos de enseñanza. La actuación sobre los sesgos situacionales, requiere que la reconstrucción de fenómenos físicos por parte del alumno esté contextualizada en un sistema y desde un modelo teórico

adecuado al modelo mental que el alumno es capaz de construir en cada momento del aprendizaje; de manera que sea posible la producción de *conflictos cognitivos* con sus preconcepciones implícitas. Algunas de las más relevantes, en este caso, podrían sintetizarse por ejemplo en la idea de que la temperatura del cambio de estado depende de la cantidad de sustancia o de la intensidad del foco calorífico.

Los contenidos conceptuales *de apoyo* (temperatura, termómetro, estados de la materia...) se introducen en este momento de un modo «no rigurosamente científico», sino en cuanto conocimientos cotidianos que posteriormente se irán reelaborando.

- En segundo lugar, el diseño de secuencias de contenidos en diferentes *niveles de elaboración* debería tener en cuenta la consideración de sistemas, relaciones legales, explicaciones y modelos teóricos progresivamente más complejos. Así el modelo físico que el alumno puede «elaborar» en las primeras fases se basa en una representación mental de los cuerpos, formados por partículas puntuales en movimiento, unidas entre sí por algún tipo de enlace de intensidad variable. Posteriormente, una vez introducido en el segundo epítome nuevos fenómenos relacionados con la transferencia de calor (conducción, radiación y convección) y los «gases ideales», en el tercero (procesos isocoros, isobáricos, isotérmicos y adiabáticos), el alumno debe reconstruir una nueva representación mental que incorpore el modelo de los «gases perfectos». Esta secuencia potencia el desarrollo de tres vectores básicos en la construcción del conocimiento científico. El vector *de lo simple a lo complejo*, y *de lo concreto a lo abstracto*, supone que el aprendizaje no consiste en

incorporar sin más nuevos conocimientos ni en sustituir unos conceptos erróneos por otros verdaderos, sino en la constante reelaboración de las relaciones causales y legales entre los conceptos de una teoría, desde las más simples o unidireccionales, hasta relaciones más complejas y sistémicas. El vector *de lo implícito a lo explícito* requiere analizar, confrontar y verbalizar los modelos internos que representan la realidad física para someterlos a un proceso de reelaboración consciente. A estos ejes, podríamos, en algunos casos específicos, añadir un cuarto: el vector *del realismo al perspectivismo*, que implica la reflexión sobre explicaciones y modelos alternativos de construcción del conocimiento científico (Rodrigo y Correa, 1999).

- Por último, la vertebración del aprendizaje en torno a los fenómenos como contenido organizador, facilita la inclusión de tres actividades específicamente dirigidas a confrontar las explicaciones causales y los modelos mentales que construyen los alumnos. Podríamos destacar, en este sentido, tres tipos de actividades que se desprenden de los presupuestos anteriores.
  - En primer lugar, el desarrollo del epítome, debe comenzar con actividades de *observación* de los rasgos esenciales que se dan en los fenómenos físicos y *discusión* sobre las posibles explicaciones causales. La *explicación causal básica* (ECB) debe fundamentarse en el *modelo científico* más cercano al *modelo mental* que el alumno es capaz de construir en cada fase del aprendizaje o nivel de elaboración. Por ejemplo, a partir de la observación de fenómenos cambio de estado, la ECB que el alumno debe inducir



con la ayuda del profesor, en el primer nivel de elaboración, se fundamenta en la idea de que cuando un cuerpo aumenta de temperatura, se incrementa el movimiento de sus partículas hasta un punto en que se debilitan los enlaces que las mantienen unidas y se produce el cambio de estado. Una experiencia práctica en este sentido, podría comenzar sometiendo un recipiente con un trozo de hielo, otro de estaño y otro de plomo (que poseen distintos puntos de fusión) a la llama de un mechero hasta conseguir su fusión. La pregunta que deben tratar de contestar los alumnos sería «por qué se deshacen estos cuerpos», o «qué habrá pasado en su interior». La explicación causal básica que los alumnos deben tratar de descubrir, a partir de los rasgos perceptivos del fenómeno, es que al darle «energía calorífica», y aumentar en consecuencia su «temperatura», las «partículas» del cuerpo (contenidos de apoyo), éstas se separan, deshaciéndose el cuerpo.

- Posteriormente, debemos promover actividades de *planteamiento inicial de leyes*, a partir de tareas que requieran el control de variables y la falsación de predicciones sobre el fenómeno. Para ello, es importante partir de la explicación de los cambios en los primeros niveles de elaboración, para ayudar luego progresivamente al alumno a reconocer las relaciones «legales» específicas de las teorías científicas, aunque aún no se formulen matemáticamente como leyes. Siguiendo con el mismo ejemplo, sobre la experiencia anterior, puesto que

la temperatura debe ir aumentando, a medida que se proporciona energía al calentar, puede plantearse a los alumnos: ¿subirá siempre igual la temperatura?; ¿podría llegar a estabilizarse?; ¿cómo sería esto último posible? Se trata, en este caso, de sugerir una ley de la fusión: la constancia de la temperatura mientras dura ésta. Si, en cambio, se pretende sugerir la otra ley de la fusión (cada sustancia pura tiene su propio punto de fusión), se preguntará, por ejemplo, «¿por qué hay que elevar la temperatura más al plomo que al estaño, y más al estaño que al hielo?», sin necesidad de llegar, de momento, a respuestas completas.

- Combinadas con las anteriores, un tercer tipo de actividades (que pueden ser cooperativas o de «lápiz y papel») estarían ya específicamente dirigidas a facilitar la toma de consciencia del conflicto entre la teoría causal (hasta ahora «implícita») y las nuevas explicaciones causales de los fenómenos. El profesor debe aquí valorar si es conveniente desvelar todas o algunas de las respuestas correctas o, por el contrario, es más útil, didácticamente, dejar la solución correcta para ir dándola a lo largo del desarrollo posterior de los contenidos de la unidad didáctica (aspecto que, hábilmente utilizado, puede incrementar la motivación en el alumno). De cualquier forma, en la puesta en común el profesor debe formular explícitamente las teorías implícitas que hayan reflejado los alumnos a través de sus respuestas. Sólo así conseguiremos promover también con nuestra secuencia elaborativa un auténtico cambio conceptual.

Recientemente, hemos operativizado y apoyado todas estas orientaciones con materiales didácticos en diferentes macrosecuencias de aprendizaje para cada una de las ramas de la Física en la Educación Secundaria (Pérez y cols., 1999, 2000)<sup>1</sup>. Para analizar su influencia en el cambio conceptual, a continuación exponemos un estudio experimental en el que se comparó el efecto de varias secuencias de aprendizaje de Termodinámica que desarrollaban un grupo de profesores en el segundo ciclo de la ESO con una propuesta alternativa basada en las orientaciones metodológicas que acabamos de exponer.

Nuestra hipótesis principal era que la confección de secuencias de E/A en la Física de 4º de ESO siguiendo las orientaciones de la teoría de la elaboración, no sólo facilitarían el aprendizaje de los conceptos científicos, sino sobre todo que produciría un cambio conceptual más significativo, respecto a las teorías implícitas de los alumnos.

## MÉTODO

*Sujetos y variables.* La investigación se desarrolló a partir de un diseño experimental multigrupo con pretest y postest. El tamaño de la muestra utilizada fue de 341 sujetos, distribuidos en 14 grupos naturales, correspondientes a unidades de 4º de ESO de 5 centros de la provincia de Badajoz. Se seleccionaron en total 5 profesores que impartían la asignatura de Física en 3 unidades de cada centro y, mediante un procedimiento aleatorio, 2 de esos grupos fueron asignados a la condición experimental (secuencia de instrucción basada en la teoría de la elaboración) y 1 a la de control (secuencia de instrucción según la metodología tradicional del profesor). De esta

forma, todos los grupos quedaron conformados por un número entre 23 y 27 sujetos, a excepción de un grupo experimental (GE2) que tuvo 32 sujetos y un grupo de control (GC3) con 21. La población de referencia es de alumnos y alumnas, de edades comprendidas entre los 15 y los 17 años, y de un nivel socioeconómico medio.

Como *variable independiente* se manipuló la metodología de instrucción para una unidad didáctica sobre contenidos de Termodinámica. Diez de los grupos recibieron una instrucción basada en las modificaciones anteriormente reseñadas para la teoría de la elaboración. Con el resto de los grupos, los profesores desarrollaron las actividades que habían trabajado con los alumnos en años anteriores.

La evaluación de los conocimientos de los alumnos en torno a fenómenos de Termodinámica se operativizó en tres variables dependientes:

- Comprensión de conceptos científicos fundamentales en Termodinámica;
- Preconcepciones espontáneas en torno a dichos conceptos;
- Capacidad de aplicación del conocimiento sobre contenidos de Termodinámica a la interpretación de fenómenos físicos cotidianos.

*Instrumentos.* Para cada una de las anteriores variables dependientes se elaboraron tres pruebas específicas de 10 ítems con 4 respuestas múltiples que se utilizaron con todos los grupos (ver Anexo). Los ítems de la prueba de evaluación de teorías implícitas se confeccionaron para tratar de suscitar explicaciones causales y preconcepciones espontáneas en torno a los conceptos de calor y temperatura, que

---

(1) En el trabajo *Propuesta de un método de secuenciación de contenidos basado en la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein* (financiado por el CIDE y distinguido con el 2º Premio Nacional de Investigación Educativa 1998), hemos incorporado una nueva herramienta informática, los mapas tridimensionales, para dar cuerpo a cada una de estas secuencias instruccionales (su desarrollo completo en papel puede consultarse en Pérez y cols., 2000).

muchos alumnos suelen manifestar al comienzo del estudio de la Termodinámica (Pérez, Suero, Montanero y Montanero, 2000). Dichas preconcepciones podrían sintetizarse en los siguientes enunciados:

- La temperatura como magnitud extensiva (relacionada con la cantidad de sustancia);
- La temperatura como sensación fisiológica (que depende de la conductividad del cuerpo que se toca);
- La temperatura del cambio de estado depende de la cantidad de sustancia;
- La temperatura del cambio de estado depende de la intensidad del foco calorífico;
- El calor como sustancia contenida en los cuerpos («teoría implícita del calórico»);
- No diferenciación entre energía interna y temperatura.

Por su parte, la prueba de aplicación a fenómenos cotidianos estaba dirigida a valorar si las interpretaciones de la realidad percibida habitualmente por el alumno se realizaban o no en función de los conceptos y explicaciones científicas aprendidas.

Además, como variables de control se evaluó la competencia en la solución de problemas físicos que requieren procedimientos de cálculo numérico, así como el rendimiento curricular en la materia (a través de una prueba tradicional elaborada por cada profesor). Se trata, por tanto, de pruebas con escasas garantías científicas, con objeto sencillamente de cotejar la concordancia de las anteriores variables dependientes con las calificaciones en las pruebas que habitualmente utilizan para evaluar el aprendizaje de la Física en la ESO.

En cuanto a las *actividades y materiales de intervención* (utilizada en la condición experimental), fueron confeccionados por los propios profesores, a partir de una instrucción desarrollada en tres partes: una breve introducción sobre la metodología «elaborativa» y los componentes didácticos que se esquematizan en la figura 2; una sesión

práctica en la que se les proporcionó los contenidos del epítome inicial y del primer nivel de elaboración y se les orientó sobre el diseño de actividades para su desarrollo (teniendo en cuenta las consideraciones metodológicas que hemos descrito, al final del apartado anterior); una serie de entrevistas individuales para orientar y supervisar el proceso de adaptación de la unidad didáctica por parte de cada profesor al método didáctico propuesto. Las dos primeras sesiones se desarrollaron, siguiendo una metodología de seminario, durante unas 3 horas cada una. El tiempo dedicado a la tutorización individual, al margen del trabajo personal de cada profesor, osciló entre 2 y 3 horas, aproximadamente.

*Procedimiento.* En total participaron cinco profesores de Física que impartían clase a varios grupos de 4º de ESO. Se asignaron aleatoriamente dos grupos de cada profesor a la *metodología elaborativa* y uno a la *tradicional*. Antes de comenzar la instrucción, los alumnos realizaron la prueba de teorías implícitas, la de aplicación y la de comprensión de conceptos científicos de Termodinámica, por este orden. Por otro lado, cada profesor valoró de manera tradicional a los alumnos con un examen con dos partes: teórica y práctica (esta última mediante problemas que requerían un cálculo numérico). Para controlar la influencia de las capacidades y conocimientos previos de los alumnos en la eficacia de la metodología se comprobó la homogeneidad inicial de los grupos en cuanto a las anteriores variables; lo cual nos obligó a desestimar uno de los grupos (de modo que uno de los profesores desarrolló una sola intervención).

La instrucción duró un tiempo aproximado de 3 semanas (unas 12 horas). La evaluación postest se realizó 3 meses después de finalizada la instrucción, utilizando los mismos instrumentos.

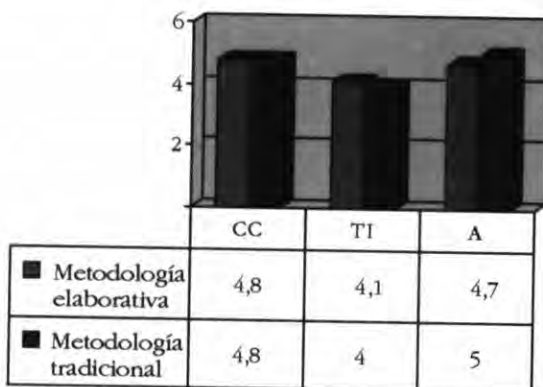
## RESULTADOS

Como acabamos de indicar, los grupos que participaron finalmente en el estudio

pueden considerarse homogéneos. El ANOVA para las puntuaciones globales de las diferentes pruebas realizadas (incluyendo las dos de control) no detectó diferencias significativas

entre ninguno de ellos ( $F[327,13]=0,364$ ;  $p > 0,05$ ). En la figura 3, presentamos las medias de las puntuaciones pretest en la prueba específica de preconcepciones.

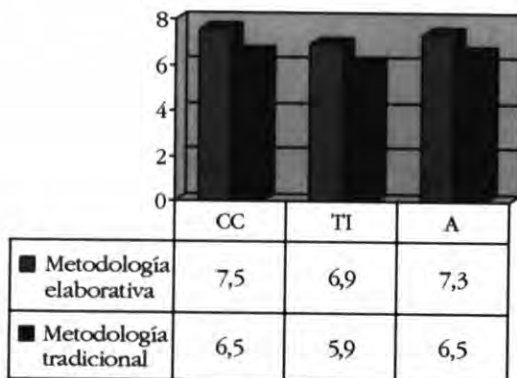
FIGURA 3  
Medias de las puntuaciones pretest para la prueba de comprensión de conceptos científicos (CC), teorías implícitas (TI) y aplicación a situaciones cotidianas (A)  
Pretest



El ANOVA no detectó diferencias significativas entre los 14 grupos que participaron, a excepción de la diferencia entre los

grupos 1 y 4 del tratamiento tradicional (lo cual no afecta en absoluto a la interpretación de los resultados globales) (figura 4).

FIGURA 4  
Medias de las puntuaciones postest para la prueba de conceptos científicos (CC), teorías implícitas (TI) y aplicación a situaciones cotidianas (A)  
Postest

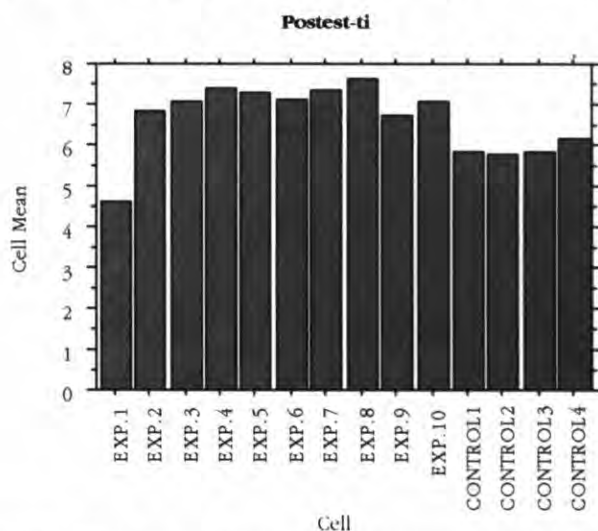


La medición postest, 3 meses después de la instrucción, reveló por el contrario una mejora significativa en todos los grupos evaluados, lo cual es también una prueba de la aceptable calidad de los métodos de instrucción que hasta entonces habían utilizado los profesores que participaron en la investigación. Sin embargo, los resultados muestran mayores incrementos en los grupos en los que se desarrollaron las actividades basadas en la teoría de la elaboración para la enseñanza de la Física (figura 4).

Las anteriores diferencias resultaron significativas tanto en la prueba específica de teorías implícitas (TI:  $t=2.18$ ;  $p < 0.05$ ), como en la asimilación de conceptos científicos (CC:  $t=5.59$ ;  $p < 0.01$ ), como en la prueba de aplicación a situaciones cotidianas (A:  $t=4.60$ ;  $p < 0.01$ ).

Un análisis más minucioso de las diferencias postest en la prueba de teorías implícitas entre cada uno de los 14 grupos ( $F[13, 327]=12.20$ ;  $p < 0.01$ ), nos confirma que no existen diferencias significativas entre los grupos de cada condición experimental (a excepción del grupo 1, que obtuvo unas puntuaciones sensiblemente más bajas que el resto, como se aprecia en la siguiente figura 5), ni entre los grupos que no recibieron una instrucción basada en la teoría de la elaboración. Este resultado puede interpretarse como una prueba más de que las anteriores diferencias son fundamentalmente efecto de los métodos didácticos, más que a la capacidad didáctica desarrollada espontáneamente por el profesor.

FIGURA 5  
Puntuaciones postest de cada uno de los grupos con metodología *-elaborativa-* (grupos EXP.) y tradicional (grupos CONTROL) en la prueba de teorías implícitas



Un último resultado relevante proviene de las matrices de correlación realizadas entre las diferentes variables dependientes y de control. Como era de esperar, en una evaluación anterior a la instrucción, la matriz de correlaciones para las puntuaciones pretest de los 14 grupos apenas ofrece

covariaciones entre las diferentes variables (Tabla I). La correlación más elevada en el pretest de preconcepciones se registra con la prueba de aplicación a situaciones cotidianas ( $r=0.14$ ), mientras que la correlación con la prueba de comprensión de conceptos científicos apenas alcanza 0.04.

TABLA I

*Correlaciones entre los resultados de las diferentes prueba del pretest del conjunto de los grupos: conceptos científicos (CC), teorías implícitas (TI), aplicación a situaciones cotidianas (A), solución de problemas numéricos (SP) y examen de la materia (Ex)*

Pretest	CC	TI	A
TI	0.03		
A	0.33	0.14	
SP	0.31	0.08	0.19
Ex	0.25	-0.28	0.27

En el postest del grupo de metodología tradicional, las correlaciones continúan sin ser significativas (como se ve en la siguiente tabla, la correlación entre la prueba de conceptos científicos y de preconcepciones asciende tan sólo hasta

$r=0.15$ ). Lo mismo ocurre en la condición «elaborativa» en todas las correlaciones, excepto justamente en esta última, donde se constata la correlación más alta de las diferentes matrices ( $r=0.43$ ;  $p < 0.01$ ) (tablas II y III).

TABLA II

*Correlaciones entre los resultados de las diferentes prueba del postest en los grupos de control*

Postest-No TE	CC	TI	A
TI	0.15		
A	0.14	-0.10	
SP	0.05	0.12	0.08
Ex	0.26	0.16	0.22

TABLA III

*Correlaciones entre los resultados de las diferentes prueba del postest en los grupos de la condición «elaborativa»*

Postest-TE	CC	TI	A
TI	0.43		
A	0.13	-0.11	
SP	0.26	-0.03	0.06
Ex	0.24	-0.05	0.11

## CONCLUSIONES

Los resultados globales muestran con cierta claridad que la secuenciación de contenidos y actividades siguiendo las orientaciones argumentadas en la introducción, a partir de la

teoría de la elaboración, es más útil que otros métodos tradicionales, al menos para la enseñanza de contenidos de Termodinámica en la Educación Secundaria.

Parecía probable que los grupos instruidos según nuestra propuesta metodológica

consiguieran reestructurar mejor sus concepciones iniciales en torno a la Termodinámica. En realidad, se trata de un objetivo que perseguíamos explícitamente con dichas actividades y que, por el contrario, suele pasar a un segundo plano en las prioridades de las estrategias didácticas de gran parte de los profesores de Física. Sin embargo, el haber registrado también mejoras sustanciales tanto en la comprensión de conceptos científicos, como en la capacidad de aplicarlos a la interpretación de fenómenos cotidianos, e incluso en las otras pruebas de menor validez, pero habitualmente más utilizadas por los profesores de Secundaria, aporta un dato muy positivo de la utilidad del método en la Educación Secundaria.

No nos cabe duda de que los condicionantes epistemológicos de los contenidos de enseñanza son de vital importancia a la hora de investigar nuevos enfoques didácticos en esta etapa educativa. En este caso, la relevancia de la observación y experimentación, tanto para el desarrollo científico de la Física como para la elaboración comprensiva de explicaciones causales durante el proceso de aprendizaje, hacen de la teoría de Reigeluth y Stein un punto de partida de gran utilidad para la enseñanza de la ciencia en general, si se tienen en cuenta las innovaciones específicas que hemos propuesto. La consideración de los fenómenos físicos como contenido organizador, se ha revelado como una innovación didáctica que facilita la secuenciación de contenidos y puede mejorar la calidad del aprendizaje de los alumnos. De hecho, los profesores colaboradores de esta investigación comprobaron, utilizando materiales muy sencillos, la buena adecuación de la secuencia instruccional al proceso de aprendizaje de los alumnos, así como el efecto positivo sobre la motivación y la participación desde un primer momento.

A pesar de la dificultad de garantizar la validez interna en este tipo de contextos educativos, creemos haber previsto

suficientes procedimientos de control ante la posible actuación de variables extrañas. Las más importantes probablemente provengan de la capacidad didáctica de los profesores, independientemente de la metodología de instrucción adoptada. Este posible sesgo se controló incluyendo un amplio número de profesores que no fueron asignados a una sola de las condiciones experimentales sino a ambas. Aún así, es necesario reconocer otras posibles amenazas, de menor peso, cuya influencia ha podido afectar a algunos resultados:

- las posibles diferencias entre el tratamiento de los grupos de la condición experimental, debido al corto período de entrenamiento del que se dispuso para preparar a los profesores;
- la contaminación entre las condiciones experimentales y control por la actuación del mismo instructor; así como el posible «efecto Hawthorne», por el nivel de implicación y las actitudes del instructor para el éxito de la metodología valorada (puesto que, como es lógico, todos los profesores participaron voluntariamente y algunos incluso estaban ya directamente relacionados con el proyecto);
- la mejora del aprendizaje como producto del mayor esfuerzo de planificación reflexiva de una secuencia de instrucción, independientemente de la metodología adoptada;
- la contaminación entre los significados cotidianos y científicos en determinados ítems de la evaluación de preconcepciones que se basan en la interpretación de un vocabulario preciso;
- el posible «efecto de reaprendizaje» entre el pretest y el postest (al utilizarse las mismas pruebas, sin contrabalanceo), o de interferencia con los aprendizajes ocurridos entre el final de la secuencia de instrucción y el postest, tres meses después (se consideró más importante, para valorar la calidad del

aprendizaje a largo plazo, evitar el efecto de recencia que se produciría habiendo realizado el postest inmediatamente después de la aplicación de la variable independiente).

Con todo, no creemos que estas limitaciones afecten significativamente a los resultados del análisis correlacional que, en nuestra opinión, ofrece sugerentes conclusiones. En primer lugar, llama la atención los bajos índices de correlación registrados en ambas condiciones, después de la instrucción. Debemos tener en cuenta que, a excepción de la solución de problemas que requerían cálculos numéricos, el resto de las variables se fundamentaban, supuestamente, en aprendizajes muy similares (requerían la aplicación de los mismos conceptos científicos con contenidos verbales y contextos diferentes). En concreto, parece comprobarse que el tipo de examen habitualmente utilizado por los profesores que participaron en la investigación (variable «Ex» en las tablas anteriores) no permite evaluar la transferencia de los aprendizajes al escenario cotidiano. Obsérvese que, si bien las correlaciones más altas se han obtenido con las pruebas de conceptos científicos, los índices continúan siendo sorprendentemente bajos.

Por el contrario, el hecho de que prácticamente la única correlación significativa entre las puntuaciones postest de las tres variables dependientes se alcance entre la comprensión de conceptos científicos (con preguntas típicas del escenario escolar) y la prueba de preconcepciones de la condición elaborativa, podría interpretarse como indicador de que el *cambio conceptual* se verificó en la mayor parte de los alumnos que recibieron una instrucción según nuestra propuesta, y no tanto en los otros. Sin embargo, de nuevo resulta sorprendente que dicha covariación apenas se refleje con la variable relacionada con la aplicación fenómenos cotidianos, e incluso que ésta sea ligeramente negativa.

Desde nuestro punto de vista, la interpretación más plausible tiene que ver con la posibilidad, ya apuntada por Rodrigo (1997), de que se produzca un cambio conceptual en el contexto científico, sin una transferencia consistente a contenidos y contextos cotidianos. De hecho, este objetivo se ha plasmado tan solo en actividades puntuales de nuestra propuesta metodológica, que pudiera adolecer, al igual que la enseñanza tradicional de la Física, de un trabajo suficientemente sólido y sistemático para asegurar la transferencia de los conocimientos entre ambos escenarios.



## ANEXO

### PRUEBA DE COMPRESIÓN

- 1.- Un cuerpo ha pasado de  $10^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ , este aumento de la temperatura está relacionado con la variación de:
  - A) La velocidad con que se mueven las partículas
  - B) La cantidad de sustancia
  - C) El tipo de sustancia
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 2.- Cuando aumenta la temperatura se dilatan los sólidos, líquidos y gases porque:
  - A) Aumenta el número de partículas de los cuerpos
  - B) Las moléculas se mueven más deprisa y aumenta la distancia entre ellas
  - C) Las moléculas se mueven más despacio y aumenta la distancia entre ellas
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 3.- ¿Qué cambia de las moléculas cuando el agua sólida se convierte en agua líquida?
  - A) El número de moléculas
  - B) El tamaño de las moléculas
  - C) La movilidad de cada molécula respecto a las que están a su alrededor
  - D) Las moléculas del agua sólida son diferentes a las del agua líquida
- 4.- Si tenemos un recipiente con paredes rígidas (bombona) y aumentamos su temperatura:
  - A) Aumenta la presión del gas
  - B) Disminuye la presión de las partículas del gas
  - C) La presión del gas permanece constante
  - D) El que aumente o disminuya la presión del gas depende del volumen de la bombona
- 5.- Cuando dejamos en clase un vaso con agua, al cabo de varios días, hay menos agua en el vaso. Cuando ponemos a hervir agua, también al cabo del tiempo hay menos agua. ¿Qué diferencia hay entre el fenómeno primero y el segundo?
  - A) El primero es una fusión y el segundo una ebullición
  - B) El primero es una evaporación y el segundo una condensación
  - C) El primero es una ebullición y el segundo una licuefacción
  - D) El primero es evaporación y el segundo ebullición
- 6.- Cuando decimos «el helado está muy frío», científicamente lo expresaríamos así:
  - A) El helado no tiene temperatura
  - B) El helado no tiene calor
  - C) La temperatura del helado es baja
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 7.- ¿Qué cambia del aire encerrado en un globo cuando se expone un cierto tiempo al sol?
  - A) La cantidad de aire
  - B) El peso del aire
  - C) La separación de sus moléculas
  - D) El tamaño de sus moléculas

- 8.- Los sólidos se dilatan menos que los gases al subir su temperatura porque:
- A) Las moléculas de los sólidos son más grandes que las moléculas de los gases
  - B) Las fuerzas atractivas entre las moléculas de los sólidos son más intensas que las fuerzas atractivas entre las moléculas de los gases
  - C) Las fuerzas atractivas entre las moléculas de los sólidos son menos intensas que las fuerzas atractivas entre las moléculas de los gases
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 9.- La Temperatura mide:
- A) El número de moléculas en movimiento de los cuerpos
  - B) La cantidad de agitación de las partículas de un cuerpo
  - C) El grado de agitación de las partículas de un cuerpo
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida

### PRUEBA DE PRECONCEPCIONES

- 1.- Queremos que dos recipientes con agua uno grande y otro pequeño hiervan. Elige la opción correcta:
- A) El grande necesita más temperatura que el pequeño
  - B) El grande necesita menos temperatura que el pequeño
  - C) Los dos necesitan la misma temperatura
  - D) Depende de la temperatura inicial de cada recipiente
- 2.- Se calienta un clavo hasta el rojo vivo y una piscina climatizada hasta que el agua esté templada. Elige la opción correcta:
- A) El clavo tiene más calor que el agua de la piscina
  - B) El clavo tiene menos calor que el agua de la piscina
  - C) El clavo ha recibido más calor que el agua de la piscina
  - D) El clavo ha recibido menos calor que el agua de la piscina
- 3.- Colocamos dos clavos de acero al sol, uno grande y otro pequeño. Al cabo de una hora, ¿Cuál de los dos clavos alcanzará mayor temperatura?
- A) El clavo mayor
  - B) El clavo menor
  - C) Los dos alcanzarán la misma temperatura
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 4.- Colocamos un clavo y un trozo de madera al sol. Al cabo de una hora, ¿Cuál de los dos cuerpos alcanzará mayor temperatura?
- A) El clavo
  - B) La madera
  - C) Los dos cuerpos alcanzarán la misma temperatura
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 5.- Sacamos un cubo de agua de una bañera llena, como consecuencia el agua de la bañera:
- A) Disminuye su temperatura y su energía
  - B) Disminuye su temperatura pero no su energía
  - C) Disminuye su energía pero no su temperatura
  - D) No disminuye ni su temperatura ni su energía

6.- Se ponen a hervir, por separado, la misma cantidad de agua y de aceite con su correspondiente termómetro. Las temperaturas que marquen estos termómetros, en el momento de la ebullición, serán:

- A) Siempre distintas
- B) Siempre iguales
- C) El que las temperaturas sean iguales o distintas depende de la cantidad de agua y de aceite
- D) El que las temperaturas sean iguales o distintas depende de las temperaturas iniciales del agua y del aceite

7.- Disponemos de tres recipientes iguales con agua, el primero a  $10^{\circ}\text{C}$ , el segundo a  $40^{\circ}\text{C}$  y el tercero a  $90^{\circ}\text{C}$ . A todos ellos les comunicamos calor de manera que aumenta su temperatura. ¿Cuál de ellos comienza a hervir a una temperatura más baja?

- A) El que inicialmente estaba a  $10^{\circ}\text{C}$
- B) El que inicialmente estaba a  $40^{\circ}\text{C}$
- C) El que inicialmente estaba a  $90^{\circ}\text{C}$
- D) La temperatura de ebullición es independiente de la temperatura inicial del agua

8.- Disponemos de tres recipientes iguales llenos de agua a la misma temperatura. El primero se calienta a fuego lento, el segundo a fuego medio y el tercero a fuego máximo. ¿Cuál de ellos hierve a una temperatura más baja?

- A) El que se calienta a fuego lento
- B) El que se calienta a fuego medio
- C) El que se calienta a fuego máximo
- D) La temperatura de ebullición es independiente de la intensidad del fuego

9.- Mientras el hielo se está fundiendo, su temperatura:

- A) Sube
- B) Baja
- C) Se mantiene constante
- D) Su temperatura sube, baja o se mantiene constante dependiendo de la cantidad de hielo

10.- Tenemos un clavo al rojo y una piscina climatizada con agua templada. Elige la opción correcta:

- A) El clavo tiene más temperatura y más energía que la piscina
- B) El clavo tiene más temperatura pero menos energía que la piscina
- C) El clavo tiene más energía pero menos temperatura que la piscina
- D) El clavo tiene más temperatura e igual energía que la piscina

### **PRUEBA DE APLICACIÓN A FENÓMENOS COTIDIANOS**

1.- Los ambientadores sólidos se gastan al transcurrir el tiempo debido a que:

- A) Sus moléculas se funden
- B) Sus moléculas aumentan de tamaño
- C) Se da una transformación del estado sólido al gaseoso
- D) Se da una transformación del estado sólido al líquido

2.- Después de fregar los platos, éstos se dejan mojados sobre el escurridor. Al cabo de un rato, los platos están secos:

- A) Los platos han absorbido el agua
- B) El agua se ha evaporado
- C) El agua se ha fundido
- D) El agua se ha licuado

- 3.- Los raíles del tren no se construyen de una sola pieza, son muchos trozos que se colocan dejando una ranuras entre ellos. ¿por qué?
- A) Porque así se ahorra dinero
  - B) Porque así se disipa el calor
  - C) Porque así se favorece la dilatación de las moléculas y no se deforma la vía
  - D) Porque así se favorece la disminución de la temperatura
- 4.- El funcionamiento del termómetro clínico se basa en:
- A) La dilatación de los materiales
  - B) El cambio de estado que experimentan los materiales
  - C) La densidad de los materiales
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 5.- En las mañanas frías de invierno vemos nuestro aliento:
- A) Porque el vapor es absorbido por el aire
  - B) Porque el vapor se condensa
  - C) Porque el vapor se congela
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 6.- Cuando se enfría y endurece la lava de un volcán ¿De qué fenómeno se trata?
- A) Licuefacción
  - B) Solidificación
  - C) Fusión
  - D) Sublimación.
- 7.- Se destapa el frasco de un perfume líquido y hueles desde lejos ¿De qué fenómeno se trata?
- A) Evaporación
  - B) Ebullición
  - C) Licuefacción
  - D) Sublimación
- 8.- ¿ A qué fenómeno se debe el vaho que se forma en el interior de los cristales de un coche?
- A) Sublimación
  - B) Condensación
  - C) Evaporación
  - D) Ninguna de las respuestas anteriores es válida
- 9.- El mercurio de un termómetro sube cuando lo introducimos en agua caliente ¿qué nombre recibe este fenómeno?
- A) Fusión
  - B) Destilación
  - C) Dilatación
  - D) Licuefacción
- 10.- Cuando por las mañanas se forma niebla cerca del río se trata de una:
- A) Fusión
  - B) Sublimación
  - C) Evaporación
  - D) Condensación

## BIBLIOGRAFÍA

- CLAXTON, G.: *Vivir y aprender*. Madrid, Alianza editorial, 1987.
- COLL, C.: *Psicología y currículum*. Barcelona, Laia, 1987.
- COLL, C. y ROCHERA, M. J.: «Estructuración y organización de la enseñanza», en COLL, C.; PALACIOS, J. y MARCHESI, A. (eds.). *Desarrollo psicológico y educación* (vol. 2). Madrid, Alianza, 1990, pp. 373-393.
- DRIVER, R.; GUESNES, E.; TIBERGIEN, A.: *Las ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid, Morata, 1989.
- JOHNSON-LAIRD, P. N.: *Mental models. Toward a Cognitive Science of Language, Inferences and Consciousness*. Cambridge, University Press, 1983.
- KARMILOFF-SMITH, A.: *Beyond modularity*. Cambridge, University Press, 1992.
- MONTANERO, M.: *Aportaciones de nuevos elementos al modelo constructivista de enseñanza-aprendizaje. Aplicaciones a la enseñanza de la Física*. (Tesis doctoral). Badajoz, Universidad de Extremadura, 1994.
- MONTANERO, M.; PÉREZ, A. L.; SUERO, M. I.: «Survey of students and teacher conceptions of action-reaction dynamics. Implicit alternative theories are manifest in the consistency of incorrect responses» en *Physics Education*, 30, (1995), pp. 277-283.
- MONTANERO, M.; PÉREZ, A. L.; SUERO, M. I.; MONTANERO, M.: «Utilización de la teoría de la elaboración en la secuenciación de contenidos de Física», en VV.AA., *Aspectos didácticos de Física y Química*. Zaragoza, ICE, 1999, pp. 103-146.
- PÉREZ, A. L.; SUERO, M. I.; MONTANERO, M. y MONTANERO, M.: «Mapas de experto tridimensionales. Aplicaciones al diseño de secuencias instruccionales de Física», en MEC. *Premios Nacionales de Investigación Educativa 1998*. Salamanca, MEC CIDE, 1999, pp. 93-116.
- *Mapas de expertos tridimensionales. Aplicaciones al diseño de secuencias instruccionales de Física, basadas en la teoría de la Elaboración*. Badajoz, Junta de Extremadura, 2000.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R.: *Las explicaciones causales*. Barcelona, Barral Editores, 1973.
- POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W. y GERTZOG, W. A.: «Accommodation of Scientific Conception. Toward a Theory of Conceptual Change» en *Science Education*, 66, (1982), pp. 211-227.
- POZO, J. I.: *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid, Morata, 1989.
- POZO, J. I. y COLS.: *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias*. Madrid, MEC, 1992.
- «El cambio sobre el cambio. Hacia una nueva concepción del cambio conceptual en la construcción del conocimiento científico», en RODRIGO, M. J. y ARNAY, J. *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona, Paidós, 1997, pp. 155-176.
- «Más allá del cambio conceptual. El aprendizaje de las ciencias como cambio representacional» en *Enseñanza de las Ciencias*, 17, (1999), pp. 513-520.
- REIGELUTH, C. M. y STEIN, F. S.: «The Elaboration Theory of Instruction», en REIGELUTH, C. M. (ed.), *Instructional design theories and models. An overview of their current status*, Hillsdale, Erlbaum, 1983.
- «Lesson blueprints based on the Elaboration Theory of Instruction», en REIGELUTH, C. M. (ed.), *Instructional theories in action. Lesson illustrating selected theories and models*. Hillsdale, Erlbaum, 1987.
- RODRIGO, M. J.: «Del escenario sociocultural al constructivismo episódico. Un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas», en RODRIGO, M. J. y ARNAY, J. *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona, Paidós, 1997, pp. 177-194.
- RODRIGO, M. J. y CORREA, N.: «Teorías implícitas, modelos mentales y cambio educativo», en POZO, J. I. y MONEREO, C. *El*

- aprendizaje estratégico*. Madrid, Santillana, 1999, pp. 75-86.
- SHAYER, M. y ADEY, P.: *La ciencia de enseñar ciencia*. Madrid, Narcea, 1984.
- SUERO, M. I.; RUBIO, S.; MONTANERO, M.; CALVO, J. L.; PÉREZ, A. L.; PEÑA, J. J.: «Persistencia de algunas preconcepciones erróneas en Dinámica». *Actas de la XXIII Bienal de Física*, Valladolid, 1991, pp. 155-156.
- TAPIERO, I. y OTERO, J.: «Distinguishing between textbase and situation model in the processing of inconsistent information. Elaboration versus tagging», en OOTENDORP, H. y GOLDMAN, S. R. *The construction of mental representation during reading*. New Jersey, LEA, 1999, pp. 341-366.
- VYGOTSKY, L. S.: *Mind and Society The development of higher psychological processes*. Cambridge, Harvard University Press, 1978.