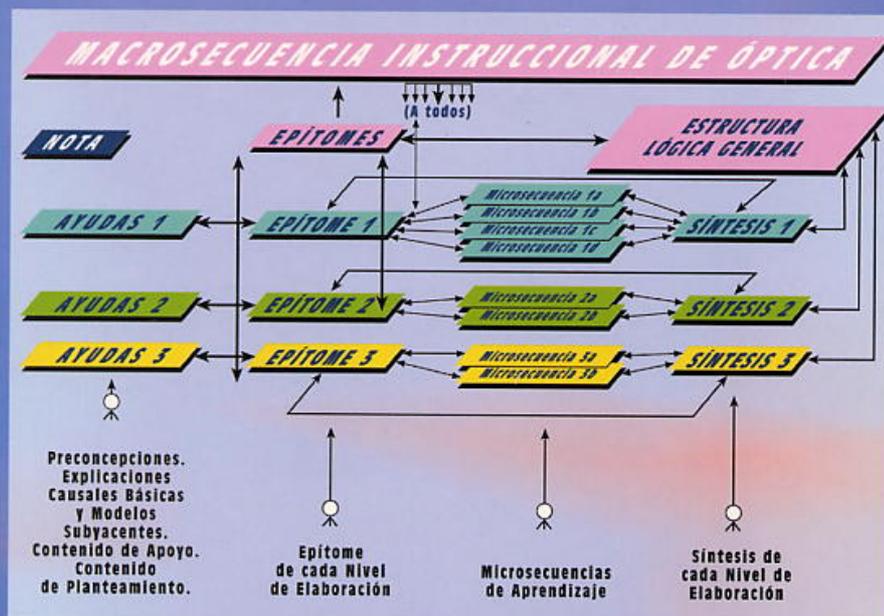


MAPAS DE EXPERTO TRIDIMENSIONALES

APLICACIONES AL DISEÑO DE SECUENCIAS INSTRUCCIONALES DE FÍSICA, BASADAS EN LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN



INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

2º PREMIO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA 1998
(MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA)

Director
ÁNGEL LUIS PÉREZ RODRÍGUEZ

Investigadores
MARÍA ISABEL SUERO LÓPEZ
MANUEL MONTANERO MORÁN
MANUEL MONTANERO FERNÁNDEZ

(Extracto: Prologo y Parte Teórica)

El trabajo que aquí se presenta ha sido distinguido con el 2º Premio Nacional de Investigación Educativa 1998. A este concurso concurren numerosos trabajos de Investigación Educativa (más de 100 en esta ocasión) de todas las áreas de conocimiento y de todas las Comunidades Autónomas españolas.

Esta investigación ha sido dirigida por Ángel Luis Pérez Rodríguez, codirigida por Mª Isabel Suero López y ha tenido como investigadores a Manuel Montanero Morán y a Manuel Montanero Fernández. Aunque el premio es de Investigación Educativa, el trabajo ha sido realizado en una Facultad de Ciencias, concretamente en el Área de Óptica del Departamento de Física de la Universidad de Extremadura. Esta investigación es una continuación del trabajo desarrollado en la Tesis Doctoral realizada por el Dr. Montanero Morán y dirigida por los Drs. Pérez y Suero, "*Aportaciones de nuevos elementos al modelo constructivista de enseñanza/aprendizaje. Aplicaciones a la enseñanza de la Física*". Todo ello encuadrado en las actividades que, desde hace 15 años, viene desarrollando el Grupo Orión de Didáctica de la Física, en el que participan profesores de Física de todos los niveles del Sistema Educativo.

Entre los resultados del trabajo realizado, se ha publicado un CD-Rom que se ha instalado en la página Web del Área de Óptica de la UEX (<http://www.unex.es/~optica/>) una de cuyas partes está dedicada al Grupo Orión. En esta línea de investigación, de didáctica de la Física, se están incluyendo algunos de los trabajos de investigación que vamos realizando, así como temas de ampliación e información actualizada de interés para los alumnos y profesores de Física.

Debido a que estos dos profesores del Área de Óptica trabajan también en Color y Visión, en esta misma dirección de Internet, en la parte dedicada a la Óptica, puede conseguirse gratuitamente la versión de difusión del programa informático "Descubriendo los Colores", realizado por ellos y patentado por la OTRI (Organismo para la Transferencia de los Resultados de la Investigación) de la UEX. En la actualidad se están realizando nuevas versiones mejoradas y se están dirigiendo varias tesinas de licenciatura y tesis doctorales que hacen uso del mismo.

Dirección General de
Enseñanzas Universitarias
e Investigación

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Educación,
Ciencia y Tecnología

DEDICATORIA:
A nuestros alumnos.

Agradecimientos:

Queremos agradecer las múltiples aportaciones de todo tipo que han hecho a este trabajo el resto de los compañeros de nuestro Grupo Orión de Didáctica de la Física: Silvina Rubio González, Julia Gil Llinás, Francisco Solano Macías, Francisca Díaz González y Pedro Pardo Fernández. También queremos recordar al resto de compañeros que han pasado por nuestro grupo y especialmente a Juan José Peña Bernal y a José Luis Calvo Aguilar que participaron en la fundación del mismo. Quede patente también nuestro reconocimiento por el apoyo obtenido de los compañeros tanto de educación secundaria como del Departamento de Física de la UEX y especialmente del director del mismo Alejandro Martín Sánchez.

Las investigaciones de las que ha derivado este trabajo no hubiesen sido posibles sin la ayuda concedida por el Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE), al que queremos agradecer la buena acogida que siempre ha tenido para nuestros proyectos.

Por último queremos agradecer también a la Junta de Extremadura (Consejería de Educación y Juventud) y al Fondo Social Europeo la ayuda económica que está haciendo posible la difusión de los resultados obtenidos en nuestras investigaciones.

ÍNDICE

Prólogo	5
---------	---

PARTE TEÓRICA

Capítulo 1.- La teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein. Propuesta de modificación para la enseñanza de la Física	10
1. Antecedentes y presupuestos teóricos de la Teoría de la Elaboración	11
2. El diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje desde la teoría de la elaboración	16
3. Componentes críticos del contenido organizador y pre-requisitos de aprendizaje. Nuevas aportaciones	22
4. Propuesta de modificación para la enseñanza de la Física	28
Capítulo 2.- Los fenómenos físicos como contenido organizador del epítome. Los Mapas de Experto Tridimensionales	33
1. Relevancia de la percepción de los fenómenos para el aprendizaje de la Física	34
2. Mapas de fenómenos y mapas tridimensionales	37
3. El epítome como análisis inicial de los fenómenos. Estrategias didácticas	42
Capítulo 3.- Causalidad y legalidad como criterio para establecer la secuencia elaborativa	47
1. Fundamentos epistemológicos y cognitivos de la causalidad	48
2. “Lo causal” y “lo legal” en el conocimiento científico	54
3. Explicación causal y modelos teóricos subyacentes	58
4. La Explicación Causal Básica. Estrategias didácticas	61
Capítulo 4.- Relevancia de las teorías implícitas en la secuencia elaborativa	66
1. Las teorías implícitas en la Física	67
2. La interferencia de las teorías implícitas en la Explicación Causal Básica	69
3. Evaluación de teorías implícitas y cambio conceptual. Estrategias didácticas	75

PARTE APLICADA

Capítulo 5.- Mapas tridimensionales para el diseño de la macrosecuencia de Termodinámica	83
1. Componentes del mapa y ejemplificación de su utilización	84
2. Mapa-llave	88
3. Primer nivel de elaboración	92

4. Segundo nivel de elaboración	102
5. Tercer nivel de elaboración	113
6. Estructura lógica general	126
7. Colección de Mapas	128
Capítulo 6.- Mapas tridimensionales para el diseño de la macrosecuencia de Óptica	146
1. Componentes del mapa	147
2. Mapa-llave	148
3. Primer nivel de elaboración	152
4. Segundo nivel de elaboración	165
5. Tercer nivel de elaboración	175
6. Estructura lógica general	186
7. Colección de Mapas	188
8. Mapa Conceptual Tridimensional	196
Capítulo 7.- Mapas tridimensionales para el diseño de la macrosecuencia de Dinámica	204
1. Componentes del mapa	205
2. Mapa-llave	206
3. Primer nivel de elaboración	210
4. Segundo nivel de elaboración	220
5. Tercer nivel de elaboración	230
6. Estructura lógica general	242
7. Colección de Mapas	245
Capítulo 8.- Mapas tridimensionales para el diseño de la macrosecuencia de Electricidad	252
1. Componentes del mapa	253
2. Mapa-llave	254
3. Primer nivel de elaboración	258
4. Segundo nivel de elaboración	270
5. Tercer nivel de elaboración	286
6. Estructura lógica general	288
7. Colección de Mapas	290
Capítulo 9.- Diseño de secuencias de aprendizaje en la práctica del aula. Ejemplificación de una unidad didáctica de Electricidad	295
1. La secuencia elaborativa en el tercer nivel de concreción	296
2. Unidad didáctica de Electricidad: análisis previo	299
3. Objetivos didácticos	302
4. Selección y secuenciación de contenidos	306
5. Actividades de enseñanza-aprendizaje	312

6. Evaluación de la Unidad Didáctica	346
--------------------------------------	-----

PARTE EMPÍRICA

Capítulo 10.- Valoración de la eficacia de una macrosecuencia elaborativa	351
1. Diseño de la investigación	352
2. Resultados	356
3. Conclusiones	366
Bibliografía	371

PRÓLOGO

En esta memoria se presenta un resumen del trabajo realizado durante el desarrollo del proyecto de investigación educativa financiado por el CIDE: *“Propuesta de un método de secuenciación de contenidos basado en la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein. Aplicación a contenidos de Física de diferentes niveles del Sistema Educativo”*. Este proyecto ha sido entregado al CIDE a finales del pasado mes de octubre, y como anexos a la memoria del mismo, se adjuntó el material didáctico elaborado, que constaba de los siguientes elementos:

- a) 3 discos de ordenador con un total de 165 mapas de experto interconectados entre si constituyendo lo que hemos decidido llamar *mapas de experto tridimensionales*. Para la utilización de este material hace falta tener instalado en el ordenador el programa comercial con el que han sido realizados.
- b) 1 CD-ROM con los mapas de experto tridimensionales mencionados en el apartado anterior, en formato de sólo lectura y con un visualizador de distribución gratuita del programa de ordenador con el que han sido realizados.
- c) 4 volúmenes autosuficientes para su utilización por el profesorado conteniendo cada uno de ellos una macrosecuencia instruccional. Estas macrosecuencias han sido elaboradas teniendo en cuenta lo establecido por la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein y su presentación se hace en forma de mapa de experto tridimensional. Los temas de las mismas son los de: Termodinámica, Óptica, Dinámica y Electricidad. Cada uno de estos volúmenes incluye: una introducción a la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein, cómo diseñar secuencias de enseñanza-aprendizaje desde la teoría de la elaboración, algunas propuestas nuestras de modificación a dicha teoría para su aplicación a la Física; así como: una introducción a los mapas conceptuales, una primera ampliación de los mismos hasta los mapas conceptuales tridimensionales y una segunda ampliación de estos últimos hasta los mapas de experto tridimensionales.

Queremos mostrar nuestro agradecimiento al Centro de Investigación y Documentación Educativa por la confianza depositada en nuestro grupo de investigación y a los compañeros tanto de Universidad como de Educación Secundaria que han colaborado con nosotros, por el tiempo que nos han dedicado y por su paciencia, cariño y esmero.

PARTE TEÓRICA

Hoy en día es ampliamente aceptada la idea de que la calidad de la enseñanza en el sistema educativo se sustenta en buena parte sobre un conjunto de presupuestos y principios psicopedagógicos englobados en lo que conocemos como Constructivismo. Dichos principios se recogen repetidamente en la legislación y documentación desarrollada a partir de la LOGSE para la Educación Secundaria (véase, por ejemplo, el Anexo I al RD 1007/1991 por la que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (BOE 26/6/91), en el Anexo al RD 1345/1991 por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria o el libro de Orientaciones didácticas de las conocidas “Cajas Rojas”).

El desarrollo real de estos presupuestos teóricos depende de una rigurosa reflexión didáctica que facilite la impregnación de los mismos los diferentes diseños curriculares y especialmente en los criterios y metodología para seleccionar, estructurar y ordenar los contenidos de enseñanza. Sin embargo, es constatable la tendencia de los docentes a seguir criterios intuitivos, refrendados por la propia práctica pedagógica, pero a menudo poco sistemáticos y difíciles de evaluar o generalizar. En muchos casos, el complejo aparato teórico generado en torno al Constructivismo manifiesta precisamente una cierta debilidad a la hora de proporcionar estrategias y recursos verdaderamente útiles que los profesores puedan aplicar en las aulas.

En este sentido, la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein (1983, 1987,) constituye una de las aportaciones más interesantes para dotar al profesorado de nuevas estrategias fundamentadas en un análisis más riguroso de los procesos de enseñanza-aprendizaje, así como para el diseño de secuencias instruccionales, tanto en el segundo como en el tercer nivel de concreción curricular. Se trata de un enfoque que reúne, con gran eclecticismo, diversos aspectos de otras teorías instruccionales, como las de Gagné, Ausubel, Bruner o, en menor medida, de Piaget, así como de las aportaciones de la Psicología del Procesamiento de la Información, con el objetivo de desarrollar nuevas herramientas didácticas que faciliten al profesorado el diseño de macrosecuencias instruccionales, es decir, la estructuración, organización y secuenciación de los contenidos que se van a enseñar a lo largo de un periodo amplio de tiempo. Sin embargo, a pesar de su innegable potencia teórica y su reconocida relevancia desde el enfoque constructivista en la Reforma Educativa (véase Coll, 1987), son muy pocos los trabajos dirigidos a estudiar su adaptación a diferentes áreas del currículo.

Las aportaciones generales de los teóricos del aprendizaje necesitan ser adaptadas previamente a las características específicas de cada materia, para evitar ciertas inconsistencias en cuanto a aspectos no tenidos en cuenta en el proceso de aprendizaje de los alumnos. En el caso particular de la Física, la teoría de la elaboración no toma en cuenta aspectos tan decisivos en el proceso de enseñanza/aprendizaje de esta disciplina como la importancia de los

fenómenos físicos, la necesidad de combatir específicamente las preconcepciones erróneas sobre los mismos, así como de potenciar la observación y desarrollo perceptivo, junto con el resto de los componentes psicológicos que intervienen en la construcción del conocimiento científico. Desde esta perspectiva y partiendo de la necesidad de que el aprendizaje se adecue desde el primer momento tanto a la observación y análisis de los fenómenos como a la propia experiencia previa del sujeto, es necesario estudiar posibles innovaciones que faciliten la adaptación de la teoría de la elaboración a estos presupuestos didácticos específicos. En esta línea, nos planteamos dos objetivos fundamentales para la primera parte de este trabajo:

- Complementar la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein con la aportación de nuevos elementos psicopedagógicos que faciliten su aplicación específica a la enseñanza de la Física.
- Estudiar las posibilidades de los “mapas de experto tridimensionales” para el diseño de secuencias instruccionales que mejoren la calidad de los aprendizajes en la Educación Secundaria.

En los siguientes capítulos, se justifican y describen, una por una estas propuestas de innovación, así como las implicaciones didácticas que tienen desde el punto de vista de la práctica del aula. Se trata de un estudio teórico en el que pretendemos analizar y complementar la teoría de la elaboración desde sus antecedentes en las teorías constructivistas del aprendizaje, hasta su aplicación específica a la enseñanza de la Ciencia sobre una triple fundamentación: la posibilidad de considerar los fenómenos físicos como contenido organizador de la secuencia de aprendizaje; la confrontación de “lo causal” y “lo legal” como dos constructos claves en el desarrollo epistemológico de la Física que deben tenerse también en cuenta para la confección de secuencias instruccionales más coherentes; y la importancia de la explicación causal como núcleo del proceso de construcción del conocimiento científico, así como de las preconcepciones y teorías implícitas que interfieren en el aprendizaje. Todo ello, constituye el soporte teórico que justifica la utilidad de un nuevo recurso que facilita la concreción práctica de dichas innovaciones en la labor docente, los *mapas de experto tridimensionales*.

CAPÍTULO 1

LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN DE REIGELUTH Y STEIN. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

1. ANTECEDENTES Y PRESUPUESTOS TEÓRICOS DE LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN

Una de las cuestiones didácticas que más preocupan a los docentes es cómo seleccionar, estructurar y secuenciar los contenidos de enseñanza de la forma más eficaz para asegurar el aprendizaje de los alumnos. Ante esta compleja cuestión, la teoría de la elaboración de Reigeluth y Stein (1983) supone una de las aportaciones más significativas de la Psicología de la Instrucción a la Reforma educativa (Coll, 1987). Sin embargo, su difusión ha sido escasa, especialmente en lo que se refiere a su aplicación a la Didáctica de la Ciencia. En este estudio pretendemos plantear una propuesta de modificación de la teoría de la elaboración en dicho ámbito, así como analizar varias aplicaciones fundamentales para el diseño de secuencias instruccionales con los contenidos de Física en la Educación Secundaria.

Desde la Psicología de la Instrucción se han desarrollado tradicionalmente dos alternativas posibles para organizar cualquier secuencia de enseñanza-aprendizaje: a partir del análisis interno del contenido a enseñar, o bien, a partir del análisis de las tareas que se pretende que el alumno sepa realizar al final del proceso.

Ausubel fue uno de los principales impulsores de la primera opción a partir de su Teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, 1978). Desde un enfoque constructivista, esta Teoría se sustenta sobre la idea de que la organización de los contenidos específicos de una materia cualquiera (*estructura lógica*) difiere sustancialmente de la organización de los mismos en la estructura mental de los conocimientos del alumno (*estructura psicológica*) en los sucesivos momentos del proceso de aprendizaje. De ahí que el eje vertebrador de toda secuencia de aprendizaje deba ir dirigido en último término a la transformación progresiva de esa *estructura psicológica* de los conocimientos del alumno; de manera que éste pueda asimilar los contenidos y relaciones lógicas implícitas en una disciplina, hasta que consiga la construcción mental de aquella estructura lógica.

Puesto que el principio fundamental a tener en cuenta para conseguir un aprendizaje significativo es que el alumno sólo aprenderá en la medida en que relaciona esos nuevos conocimientos con lo que él ya sabe, esa labor de transformación debe concretarse al menos en tres momentos:

1º) La identificación de los elementos fundamentales de la *estructura lógica* del contenido, que nos proporcione un modelo para saber cuál ha de ser el estado final de los conocimientos del alumno. Para ello, el profesor puede utilizar diversas técnicas, entre las que destaca el mapa conceptual.

2º) El establecimiento de un “puente” cognitivo (organizador previo) entre esos nuevos contenidos ya explicitados y los conocimientos previos del alumno. El profesor debe dedicar un gran esfuerzo a detectar y activar (a través de

analogías, evocaciones, actividades experienciales...) el conocimiento previo que considere necesario para cada nuevo aprendizaje.

3º) La estructuración de una *jerarquía conceptual*, un camino didáctico que descienda desde los conceptos más generales a los más específicos. Para lo cual, el profesor deberá alternar procesos de análisis y síntesis, que faciliten que la estructura psicológica del alumno vaya ganando progresivamente en relaciones y detalles.

Como puede apreciarse, las limitaciones del análisis de Ausubel se deben a su carácter excesivamente teórico y orientado a la enseñanza de contenidos sólo conceptuales. Probablemente tenga que ver con eso la escasez de estudios que supongan una aplicación de estas estrategias a contenidos curriculares concretos (Montanero y Montanero, 1995).

Por contra, la segunda alternativa, el análisis de tareas, parte más bien de las destrezas ejecutivas que requiere un aprendizaje. De manera que, para Gagné (1985), la *jerarquía de aprendizaje* ha de ser en realidad ascendente, desde las habilidades más básicas hasta las estrategias más complejas (que requieren primero un buen dominio de las anteriores). Así, por ejemplo, la enseñanza de los procedimientos para operar con “sistemas de ecuaciones” en el Segundo ciclo de la E.S.O., exigiría que el profesor se asegure, antes que nada, de que el alumno domina las operaciones de cálculo más básicas (con fracciones, potencias, raíces...); posteriormente, las operaciones con ecuaciones muy simples y con una sola incógnita; y así sucesivamente, hasta llegar a dominar las diferentes estrategias de resolución por “sustitución”, “igualación” y “reducción”, pasando por tantas otras habilidades previas como el análisis de tareas que el experto explicita... El mal aprendizaje de cualquiera de estas tareas condicionará el de las siguientes.

Con frecuencia, muchos docentes parecen no tener en cuenta en su metodología didáctica conclusiones tan obvias como estas. Sin embargo, una vez más el mayor problema estriba en la focalización de esta Teoría sobre un sólo tipo de contenidos (en este caso de tipo procedimental) que revisiones posteriores, desde una perspectiva cognitiva (Landa, 1987; Merrill, 1987), tampoco han superado por completo.

Ante las limitaciones de estas dos formas de secuenciación, aparentemente tan contrapuestas (a partir de un análisis del contenido conceptual o de un análisis de las tareas a dominar por el alumno), se han propuesto otras alternativas. De entre ellas, la tercera vía más sólida es quizá la que defiende Reigeluth en su *teoría de la elaboración* (Reigeluth y Stein, 1983). Se trata de un enfoque menos conocido pero que la Reforma Educativa del sistema educativo español (Coll, 1987) respalda claramente para la Educación Secundaria, y que, además de asumir y conciliar los enfoques anteriores, consigue una dimensión mucho más operativa.

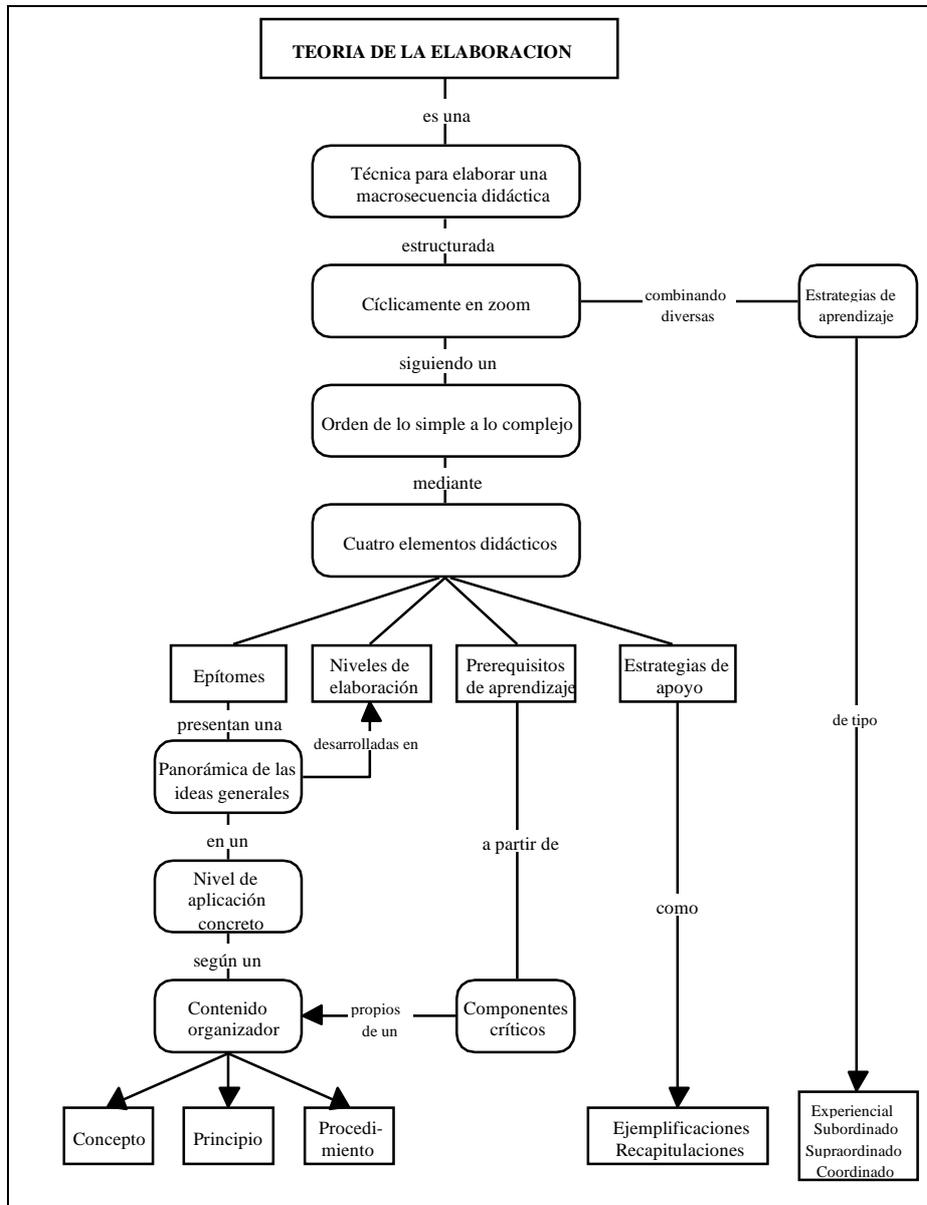
Para Reigeluth, la supuesta contraposición entre las secuencias descendentes y ascendentes de Ausubel y Gagnè no resulta tan radical. Como ya dijimos, el análisis de tareas prescribía que todo proceso de enseñanza debe comenzar por aquellas habilidades más básicas y simples que son prerrequisito del aprendizaje de las siguientes. Ausubel, por otro lado, propone empezar por los conceptos más generales hacia los más específicos y detallados. Sin embargo, la generalidad o “inclusividad” de un concepto, es decir, su aplicación a un mayor número de casos concretos, no supone necesariamente una mayor “abstracción”. Como analizamos detenidamente en las próximas páginas, Reigeluth propone la superación de estas supuestas antinomias mediante un método de secuenciación que marque una vía de lo general a lo detallado, al mismo tiempo que de lo simple a lo complejo.

Para ello, el “descenso” que supone toda esa elaboración detallada de los contenidos generales debe alternarse con frecuentes “subidas”. De modo que se asegure la reformulación de las ideas iniciales con la riqueza que han ganado, así como la consolidación de las relaciones “significativas” entre unas y otras en la mente del alumno. Se trata de una especie de *proceso cíclico en espiral*, semejante a como opera el mecanismo del *zoom* de una cámara, combinando diversos procesos y estrategias de aprendizaje:

- Con estrategias de “subordinación” semántica entre las ideas de un nivel y el superior.
- Junto con la “coordinación” también entre ideas del mismo nivel.
- Que se integran entre sí y con otras superiores (“supraordenación”) enriqueciendo las relaciones de aquellas ideas más amplias.
- De tipo “experiencial” (especialmente en las primeras presentaciones de las ideas generales).

La teoría de la elaboración no se circunscribe a la enseñanza de un solo tipo de contenido. Pero, eso sí, es muy importante que el profesor se plantee previamente cuál de esos tipos (un concepto, un principio, un procedimiento general...) va a ser el eje que vertebré todo el proceso de aprendizaje, de forma que los demás se engarcen como contenidos de apoyo del mismo. Esta decisión condicionará totalmente todo el diseño didáctico, y es, junto con la técnica de elaboración en *zoom*, probablemente la aportación más interesante de Reigeluth.

A diferencia del enfoque de Ausubel (criticado por un excesivo desarrollo especulativo), los anteriores presupuestos teóricos se articulan y operativizan en una estrategia didáctica concreta para secuenciar contenidos. En el siguiente mapa conceptual hemos resumido sinópticamente todos esos elementos. Sirva también como ejemplo del uso de una técnica para representar la estructura lógica de un contenido, en este caso el de la propia teoría de la elaboración.



En definitiva, lo que más nos interesa desde el punto de vista de su utilidad práctica para el docente es la consideración de cuatro tipos de instrumentos didácticos que facilitan la secuenciación y el aprendizaje de los contenidos: los epítomes, los niveles de elaboración, los prerrequisitos de aprendizaje y las estrategias didácticas de apoyo.

2. EL DISEÑO DE SECUENCIAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DESDE LA TEORÍA DE LA ELABORACIÓN.

La secuencia comienza por un *epítome inicial* que es esa primera visión panorámica de los contenidos más generales que posteriormente pretendemos desarrollar con detalle. Sería algo así, siguiendo con nuestra analogía fotográfica, como la utilización del “gran angular” de nuestra cámara. En el epítome se sintetizan aquellas ideas más generales en un mismo nivel, que se retomarán y consolidarán cada vez que se profundice un poco más en los contenidos, de modo que las relaciones de conjunto siempre priman sobre los contenidos específicos del mismo. El alumno los 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.

Por otra parte, el epítome es un contenido de enseñanza en sí mismo (y como tal debe ser evaluado). Debe estar estructurado en torno a un *contenido organizador*, como luego analizaremos detenidamente, y presentado al alumno 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.

Si el contenido organizador es de tipo conceptual, cada *nivel de elaboración* implicará una ampliación sucesiva de los conceptos y detalles subordinados. En cambio, si es procedimental, cada paso de ese procedimiento general que se presentó en el epítome puede ahora dividirse en pequeños “sub-procedimientos”, estrategias y habilidades específicas (cuya implementación depende, a su vez, de diferentes circunstancias con sus determinadas excepciones...). Los niveles de elaboración serán tantos como pretendamos complejizar dichos procedimientos.

El profesor puede considerar el aprendizaje resultante del epítome (y los contenidos fundamentales del primer nivel de elaboración) como una primera aproximación a los “contenidos mínimos” de los que los alumnos deben dar cuenta, de manera que se preserve un conocimiento global de la materia. Algunos de esos alumnos, de hecho, pueden no estar capacitados para profundizar mucho más en las relaciones lógicas y contenidos más abstractos que van a tratarse en niveles subsiguientes.

Cada una de las fases de acercamiento del zoom al contenido específico de la materia supone pues un nivel mayor de elaboración de aquel epítome inicial. Cada vez que culminemos una de estas fases de profundización, deberemos insistir en las relaciones que presenta con el plano general de conjunto, con lo que este se enriquece y extiende. Se trata del “epítome ampliado”.

El efecto que se produce en el alumno cuando agotamos la enseñanza de diversos contenidos sin pasar de nuevo por el epítome es análogo al efecto de “mareo” que un principiante genera frecuentemente con su cámara de vídeo. Sólo la cámara que contenga un dispositivo “estabilizador de imagen” permite desplazar el objetivo de una escena a otra con el zoom al máximo. Esta capacidad, propia de la estructura cognitiva del experto, puede sin embargo comenzar a desarrollarse de alguna forma al final de los sucesivos epítomes (“epítome final”), donde aquella dimensión fundamentalmente práctica del primero aparece ya reformulada con múltiples relaciones semánticas (más abstractas) que se han ido ganando en el proceso.

El diseño de estas secuencias elaborativas debe estar determinado por los conocimientos previos del alumno y por los diferentes procesos cognitivos que debemos activar para facilitar un aprendizaje significativo de los nuevos contenidos. En este sentido, Reigeluth (1983) señala que no es solamente el conocimiento superordinado el que facilita la significatividad del aprendizaje, como preconizaba Ausubel, y propone una serie de procesos que deben confluir para potenciar la adquisición, organización y almacenamiento del nuevo conocimiento. En nuestro esquema anterior hemos destacado los procesos de aprendizaje más importantes, que a su vez son responsables de la generación de cuatro tipos de estructuras de conocimiento:

1. Procesos y estructuras de conocimiento subordinado

Se parte de una idea ya existente en los conocimientos del individuo y se incluyen en ella otras nuevas más particulares. Estas ideas nuevas pueden ser otros casos más que ejemplifiquen la idea previa, pero *sin modificarla* sustancialmente (subordinación derivativa). O también pueden operar como extensiones de aquella idea anterior, pudiendo *enriquecer o modificar* incluso los “atributos de criterio”, nucleares, que la definen: la “idea nueva” es una parte más específica de la idea previa (subordinación correlativa).

Esta forma de aprendizaje proposicional, en sus dos modalidades derivativa y correlativa (Ausubel, 1978), está caracterizada por un proceso de *diferenciación progresiva*, por el que la estructura cognitiva crece desde las ideas más generales a las más específicas, es decir, desde un todo más amplio e indiferenciado, pero conocido, a sus componentes más detallados.

El aprendizaje resulta significativo porque las nuevas ideas han quedado articuladas de forma lógica y sustancial con otras más generales. La advertencia didáctica importante que de aquí se desprende es llamar la atención sobre la *necesidad* de partir explícitamente (sin dar su existencia por supuesta) de conceptos más inclusivos sobre los que el alumno pueda vincular otros conocimientos, evitando así la dispersión y el método de retención puramente repetitivo que el aprendizaje no significativo conlleva. En este sentido, podemos

decir que la reconciliación integradora produce a su vez una diferenciación progresiva.

2. *Procesos y estructuras de conocimiento supraordinado*

En este caso el proceso mental discurre en el sentido opuesto al explicado anteriormente. La supraordenación se produce cuando, entre varios conceptos o proposiciones, se captan por el individuo nuevas relaciones que permiten su integración en una idea más inclusiva. Estos conceptos o proposiciones adquieren, en consecuencia, la forma de una nueva organización ideativa, que genera, por tanto, un nuevo significado. Ausubel llama a este proceso *reconciliación integradora*, y su resultado es el aprendizaje supraordinado.

La integración a que nos referimos puede ocurrir de dos maneras. Como resultado natural de la misma diferenciación progresiva. Es decir, el individuo aunque se percata de las diferencias y semejanzas entre las ideas obtenidas a través del aprendizaje subordinado aplicado anteriormente, percibe también vínculos que le permiten relacionar entre sí aquellos conceptos. Es importante didácticamente que el profesor lo facilite y, en todo caso, se cerciore de que los alumnos han realizado la integración pretendida.

La segunda forma se produce cuando en el material a estudio *se añade algún elemento nuevo* que hace aflorar la cadena de relaciones con los otros de la misma categoría, ya existentes. Para lo cual el profesor debe mantener las ideas explícitas en la mente del alumno recapitulándolas y sintetizándolas.

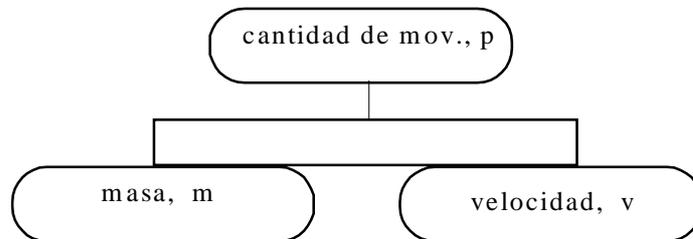
3. *Procesos y estructuras de conocimiento coordinado*

Existe un tercer tipo de aprendizaje en el que también se da la 'reconciliación integradora', y que es complementario del aprendizaje subordinado. En él los conceptos o proposiciones antiguos y la nueva idea no guardan entre sí dependencia de subordinación o supraordinación porque tienen el mismo grado de inclusividad, pero aparecen relaciones sustanciales entre ellos que dan lugar, a modo de *generalización* de dichas relaciones, a otra organización conceptual con nuevo significado.

En Física, por ejemplo, este tipo de aprendizaje es muy frecuente y se da al deducirse las leyes que establecen relaciones numéricas entre varias magnitudes, sin definirse en este proceso otras nuevas de mayor grado de inclusividad. Una muestra clara lo ofrece la ley de Ohm: dos magnitudes, diferencia de potencial, V , y resistencia eléctrica, R , constituyen dos elementos conceptuales básicos en la explicación de las características de un circuito, pero la relación sustancial entre ellas no puede entenderse hasta no contar con el vínculo que proporciona otra magnitud del mismo grado de generalidad en el contexto de estos contenidos, que es la intensidad, I . Otros ejemplos de Física lo proporcionan las

relaciones entre presión, volumen y temperatura en los gases, entre masa y energía, etc (Montanero y Montanero, 1995).

En general, las tres formas de aprendizaje descritos (subordinado, supraordinado y coordinado) se dan, alternativamente, ante cualquier explicación expositiva de contenidos conceptuales. De tal forma que el proceso de aprendizaje del alumno baje unas veces de lo más general a lo más específico (diferenciación) y otras suba en sentido contrario (integración). Aunque la orientación general de la jerarquía conceptual sea en definitiva descendente. La importancia de estas “subidas” y “bajadas” por la escalera conceptual nos orienta sencillamente hacia algo que parece un principio natural del aprendizaje: cualquier nueva especificación de una idea más inclusiva proporciona, en general, un nuevo significado a dicha idea, el cual habrá de ser integrado en una estructura conceptual más amplia. En el siguiente ejemplo podemos apreciar las estructuras del conocimiento supraordinadas, subordinadas y coordinadas de



diversos conceptos de la Física.

El concepto de “cantidad de movimiento” es superordinado respecto a los otros dos, o lo que es lo mismo, los conceptos de “masa” o “velocidad” son subordinados al primero. Por otra parte, “masa” y “velocidad” son conceptos coordinados entre sí y, como es muy frecuente en Física, están relacionados mediante la definición de una magnitud más compleja, $p=mv$ (en otras ocasiones esta relación la proporciona un principio; por ejemplo, las magnitudes coordinadas V , I , R en un circuito eléctrico están relacionadas por el principio o ley $V=IR$).

4. Procesos de aprendizaje experiencial.

Reigeluth atribuye una gran importancia a esta forma de conocimiento como base imprescindible de cualquier secuencia de enseñanza/aprendizaje. El conocimiento experiencial hace referencia a cualquiera de los aprendizajes específicos, hechos o sucesos que han sido almacenados en memoria episódica, fundamentalmente en dos situaciones de aprendizaje:

- Cuando el caso conocido es un ejemplo aislado (por ejemplo si queremos enseñar el concepto de “resistor variable” y el alumno conoce un ejemplo particular de “reostato”, pero no lo tiene subordinado a la idea anterior). No se trata aquí, por tanto, de ampliar la base de datos, sino de crear una nueva estructura, activando en la mente del alumno la idea de “reostato”, planteándola en referencia a “resistor variable” (al alumno difícilmente se le ocurriría) y, por último, explicitando la relación de subordinación.
- Cuando el caso es conocido como un concepto subordinado. Lo único que cabe hacer es aumentar el número de ejemplos específicos con objeto de ir enriqueciendo, si fuera necesario, la base de datos del sujeto.

En resumen, para la adquisición, organización y recuperación del nuevo conocimiento en un nivel de aplicación es imprescindible que exista una relación de las nuevas ideas con la base de datos experienciales del alumno, adquirida de las tres formas: por activación de ejemplos familiares aislados; por creación de relaciones entre clases-subordinadas conocidas; mediante la provisión de nuevos ejemplos pertinentes que ensanchen la estructura de subordinación formada. Reigeluth insiste tanto en la importancia de este conocimiento para la *adquisición* de las nuevas ideas como para la *recuperación* de las mismas, facilitada por estar relacionadas con la base de datos experienciales.

La secuencia de aprendizaje elaborativa debe operar sobre estos procesos cognitivos y sus estructuras de conocimiento subsiguientes haciendo converger tres vectores elaborativos:

1. De lo general a lo detallado.

Hace referencia a conceptos y a procedimientos. Lo *general* es lo más amplio e inclusivo, mientras que lo *detaillado* es menos amplio y corresponde a subdivisiones de lo general. Es decir, se trata de una estructura superordinada del conocimiento en la que el significado de lo ‘general’ y lo ‘simple’ coinciden en el caso de conceptos y procedimientos.

2. De lo simple a lo complejo.

Simple es lo que menos partes tiene, mientras que *complejo* posee un mayor número de partes. Se aplica a principios y procedimientos, en los que otra vez se identifica ‘simple’ con ‘general’ y, ahora, además, ‘complejo’ con ‘detaillado’. La secuencia de lo “simple a lo complejo” corresponde también a una estructura superordinada del conocimiento.

Las ventajas que se obtienen al aplicar una secuencia de “lo simple a lo complejo”, son las siguientes:

- La formación de estructuras cognitivas más estables, lo que da lugar tanto a mejores retenciones a largo plazo como a mejores transferencias.

- La creación de contextos significativos dentro de los cuales son adquiridos todos los contenidos instruccionales, mejorando así la motivación.
- La provisión al estudiante de un primer conocimiento general de los aspectos principales del contenido instruccional, lo que le facilita un cierto control sobre la selección y secuenciación del contenido.

3. *De lo concreto a lo abstracto.*

Lo que hace concreto un concepto o un principio o un procedimiento es el conocimiento experiencial de ejemplos específicos. La dimensión abstracto-concreto es, por tanto, complementaria pero independiente de las otras dos. Veamos un ejemplo de la Física. El principio de la interacción eléctrica entre dos cuerpos (ley de Coulomb) tendrá un determinado grado de generalidad que es el que le corresponda con relación a otros principios de la Electricidad. Pero a esta dimensión se superpone otra que va de lo concreto a lo abstracto y que dependerá exclusivamente del tipo de ejemplos que en unas determinadas circunstancias se puedan utilizar. Dependiendo de los cuerpos que interaccionan, podría seguir este orden: (1) Cuerpos de uso corriente (por ejemplo, mostrar un caso de fuerza eléctrica entre la esfera de un Van de Graff y la de un péndulo eléctrico. Se trata de un caso específico claramente visible); (2) Cuerpos pequeños (mostrar la fuerza entre dos gotas de aceite cargadas por fricción. El ejemplo es menos tangible que el anterior); (3) Partículas subatómicas (sobre un esquema en el que figura una red iónica de una sal se indican las fuerzas entre los iones. Se trata ahora de un ejemplo específico pero difícilmente tangible); (4) Enunciado del principio (“dos cuerpos cargados eléctricamente se atraen o repelen con fuerzas que son directamente proporcionales al producto de las cargas e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia”). La definición (por la que en muchas ocasiones se comienza la enseñanza de una idea) constituye el mayor grado de abstracción. No posee significado si no existe algún tipo de conocimiento experiencial al que sea aplicado

Como puede apreciarse, la secuencia elaborativa está basada en *epitomizar*, antes que en sintetizar o resumir, ya que facilita el aprendizaje significativo otorgando una especial relevancia a las ideas generales en un nivel “de aplicación” no memorístico.

De todas formas, como complemento en el desarrollo de estos niveles, el profesor cuenta también con *diferentes estrategias didácticas de apoyo* importantes para la cohesión de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. Además de los recursos audiovisuales y tecnológicos en general, así como el conjunto de estrategias dirigido a estimular la autonomía y auto-control del propio proceso de aprendizaje, Reigeluth destaca otras tres estrategias de tipo

verbal: la “analogía” (que puede desempeñar una función semejante a la del Organizador Previo de Ausubel), el “resumen” y la “síntesis”. Desde nuestro punto de vista, resultaría más completo la distinción entre dos modalidades:

- las *ejemplificaciones* (ejemplos, analogías y digresiones)
- las *recapitulaciones* (el “resumen” sucesivo y con otras palabras de los elementos más importantes que se van introduciendo en el discurso; y la “síntesis” de las relaciones de esos elementos entre sí y con aquellos de los cuales constituyen una elaboración)

El uso de este tipo de estrategias facilita ese proceso cíclico constante de las ideas generales a los elementos más específicos. Al tiempo que, al incrementar el nivel de redundancia de la explicación del profesor, mejoran también su comprensión (Sánchez y col., 1996).

3. COMPONENTES CRÍTICOS DEL CONTENIDO ORGANIZADOR Y PRERREQUISITOS DE APRENDIZAJE. NUEVAS APORTACIONES

Reigeluth, al igual que Gagnè, confiere gran importancia a la consideración didáctica de los “prerrequisitos” que posibilitarán que el aprendizaje sea efectivo. El profesor debe tratar de proporcionar o, en su caso, activar tanto los *conocimientos previos* como las *estrategias* pertinentes para que el alumno pueda asimilar los elementos fundamentales del contenido al que se enfrenta. Cada uno de esos elementos y relaciones, que constituirán los *componentes críticos* (propios de un tipo de contenido determinado), será el punto de referencia para planificar los prerrequisitos que cada aprendizaje necesita.

Hasta ahora, el profesor seguía preocupado por el aprendizaje del contenido en sí, más que por los procesos y estrategias que el alumno debe activar. Por otra parte, es fundamental que se asegure también de que el alumno es capaz de comprender esas relaciones semánticas de pertenencia entre una característica y su concepto, cuál de ellas es clave y cuál superficial, cómo reorganizarlas para formar “ad hoc” nuevas categorías, cómo recuperarlas de manera funcional y no meramente mecánica, etc. Esto supone que tenga en su repertorio un conjunto de estrategias de categorización, clasificación, comparación, selección y recuperación de la información, cuyo uso se convierte en muchos momentos en un prerrequisito fundamental del que muchos alumnos carecen para conseguir un aprendizaje comprensivo.

Independientemente de la relevancia de estos instrumentos didácticos en el ámbito del diseño curricular, el enfoque de Reigeluth sobre los prerrequisitos de

aprendizaje supone una aportación tan interesante como escasamente estudiada en la Psicología de la Instrucción. Las revisiones de su teoría (Coll, 1987; Coll y Rochera, 1990; Montanero, 1994; etc) apenas aluden a las implicaciones metacognitivas que, desde nuestro punto de vista, introduce Reigeluth con el análisis de los componentes críticos de cada contenido organizador. A menudo se insiste en la importancia de los conocimientos previos con la misma ambigüedad con que lo hiciera Ausubel, sin hacer referencia dentro de estos al desarrollo de estrategias metacognitivas que posibilite la asimilación de la estructura formal de un contenido concreto.

Volviendo nuevamente a la teoría de la elaboración, para Reigeluth cada uno de esos contenidos organizadores da lugar a varios tipos de secuencias con una *estructura de contenido* específica:

a) Un contenido organizador de tipo procedimental dará lugar a una secuencia con dos posibles estructuras internas: de “orden” (en el que el paso de un estado a otro en la resolución del procedimiento es completamente mecánica); o de “decisión” (en el que mediaría, en cambio, un proceso de toma de decisiones).

b) En cuanto a los principios, Reigeluth señala que nos podemos encontrar con una estructura “descriptiva” o bien “prescriptiva” del proceso de cambio que ese principio pretende explicar.

Esta distinción no parece demasiado precisa. La formulación de un principio de Física, por ejemplo, atraviesa varias fases científicas desde la observación de un fenómeno hasta la deducción de un modelo causal que lo explica y pretende predecirlo, pasando antes por otra en el que el científico induce unas leyes que simplemente describen las relaciones entre diversos hechos del fenómeno (Montanero, 1994). Reigeluth parece confundir la génesis epistemológica, “legal” y “causal”, de un principio, con dos formatos de contenido en cuanto objeto de aprendizaje, lo cual resulta equívoco.

En cualquier caso, Reigeluth identifica ese carácter “predictivo” del “modelo teórico y causal” que supone psicológicamente todo principio, con lo supuestamente “prescriptivo”, que sería más bien propio de un procedimiento. Efectivamente, un procedimiento “prescribe” cómo debe ejecutarse algo. Por el contrario, un principio pretende “explicar” las causas o “predecir” los efectos de un fenómeno.

c) Por último, Reigeluth denomina “listado” a la estructura subyacente en una enumeración de hechos y reseña, así mismo, dos tipos de estructuras conceptuales que denomina “taxonomía” y “matriz”. Los elementos que estructuran semánticamente un concepto pueden organizarse “taxonómicamente” como tipos o partes. La “matriz”, por otro lado, no es una estructura *vertical* del mismo tipo que las anteriores, sino que representa en

realidad una comparación *transversal* entre conceptos, según relaciones, no simplemente semánticas, sino también criterios.

Los estudios realizados en otros ámbitos concomitantes pueden ayudarnos a esclarecer este complicado panorama. Existe un claro paralelismo entre las estructuras de contenido defendidas por Reigeluth y las *superestructuras textuales* propuestas por Kinstch y Van Dijk (1978), y posteriormente investigadas por múltiples autores en el campo de la comprensión de textos expositivos. El estudio de las implicaciones cognitivas de estas “superestructuras” tiene muchos puntos en común con el enfoque de Reigeluth. Pero, más allá de las coincidencias que a continuación reseñamos, las discrepancias apoyan la necesidad de completar y proponer algunas alternativas a este último modelo (véase Montanero, 1997). Así:

- El Problema-solución de Meyer se correspondería, desde nuestro punto de vista, con la estructura procedimental de “decisión” en la teoría de la elaboración.
- La Causación con las estructuras de contenido “descriptiva” y “prescriptiva” que anteriormente hemos criticado (y que podríamos quizá reformular como “causación correlacional” y “condicional” respectivamente).
- La Comparación sería la equivalente a la “matriz”, y la Descripción enumerativa correspondería al “listado” o la “taxonomía” de Reigeluth.

Por otro lado, creemos que se obtendría una mejor aplicación didáctica al considerar las estructuras de “orden” más bien como “secuencial” (con un patrón de relación episódico, de carácter narrativo o temporal, como suelen presentar los contenidos de Historia); antes de incluirlos en el mismo “saco” de los procedimientos (que son en cambio de naturaleza metodológica y prescriptiva).

Además, para la instrucción de ciertos contenidos es importante añadir un tipo de estructura más que no ha sido reconocida diferencialmente por estos autores. Frecuentemente podemos encontrarnos con contenidos conceptuales, fundamentalmente principios, que presentan una estructura “implicativa”, en la que se establece una relación argumental desde unas premisas a una conclusión. Relación lógica que no debemos confundir con el patrón procesual de causa-efecto que se establece en las estructuras “causales”.

En definitiva, parece legítimo diferenciar las estructuras de contenido que se pueden generar en los principios en “causales” e “implicativas”, en lugar de “descriptivas” y “prescriptivas”, como defiende Reigeluth.

En el siguiente cuadro hemos recogido todas estas modificaciones, como propuesta alternativa al modelo de Reigeluth sobre las estructuras de los contenidos organizadores de una materia cualquiera. Además, hemos añadido un análisis de los patrones de relación, las categorías cognitivas y las técnicas específicas de representación de cada una de estas estructuras, de cara a ampliar, como veremos brevemente, las posibilidades didácticas de estos instrumentos.

CONTENIDO	ESTRUCTURA	RELACIÓN	CATEGORÍA	REPRESENTACIÓN
CONCEPTO	I. DESCRIPTIVA	De pertenencia	Concepto → Atributo Función Parte	Esquema Mapa conceptual
	II. COMPARATIVA	Criterial	Concepto ↔ Concepto	Cuadro sinóptico
PRINCIPIO	III. CAUSAL	Procesual	Causa → Efecto	Organi- grama Mapa conceptual
	IV. IMPLICATIVA	Argumental	Premisa → Conclusión	
PROCEDI- MIENTO	V. METODOLÓGICA	Decisional	Problema → Solución	Diagrama de flujo
	VI. SECUENCIAL	Episódica	Antecedente → Consecuente	Organi- grama

Paralelamente a la difusión de la Teoría de Reigeluth, se han desarrollado un gran número de estudios de este tipo, muchos de los cuales no parecen, desde nuestro punto de vista, suficientemente sistemáticos. De cualquier forma, creemos que la aplicabilidad didáctica del análisis cognitivo de la estructura lógica de un contenido, sea en un texto expositivo o en la misma explicación del profesor en el aula, no depende tanto del número de estructuras como de que se justifique un patrón de relación, un tipo de categoría y una estrategia de representación por cada una de las seleccionadas.

Quizá esta discusión pueda parecer meramente especulativa o terminológica. Sin embargo, como hemos defendido recientemente (Montanero, 1997), cada tipo de contenido responde a muy diversos procesos de aprendizaje de los que lógicamente deriva la prevalencia de uno u otro método de instrucción. Es más,

como muchos profesores perciben a diario, la dificultad del aprendizaje del alumno se debe a menudo, más que al contenido en sí mismo, a la complejidad de acceso a su estructura interna. Conocer con precisión dicha complejidad nos debe facilitar el conocimiento de los “prerrequisitos de aprendizaje” que requiere cada paso didáctico.

Para ello, el docente debe intervenir sobre algo más que los conocimientos previos, o las habilidades más simples a las que se refería Gagnè. Es habitual enfocar los prerrequisitos de un aprendizaje, simplemente como los conocimientos previos que facilitan su consecución. Sin embargo, el alumno debe dominar también estrategias metacognitivas que le permitan asimilar las anteriores relaciones estructurales que organizan esos contenidos, si quiere que esa asimilación sea auténticamente significativa.

La aplicación didáctica de todo este análisis estructural que hemos hecho en torno al contenido organizador deriva en una visión sustancialmente diferente de aquellos *componente críticos* que, según Reigeluth, el profesor debe enfatizar como prerrequisito que asegure un aprendizaje significativo:

a) Si ese eje vertebrador es *procedimental*, como en el ejemplo del contenido “Sistema de ecuaciones”, el profesor debería tratar de desglosar cada *operación* básica que el alumno debe dominar por separado. Posteriormente, debería también entrenarle específicamente en la toma de decisiones estratégica que relaciona dichas operaciones y que lleva en la práctica, por ejemplo, a elegir eficazmente resolver por “igualación”, mejor que por “reducción”, un sistema de ecuaciones concreto.

b) Si el contenido organizador lo constituyen los *principios* (como sería el caso de los principios de Newton en la enseñanza de la Dinámica en Física) el profesor deberá esforzarse en explicitar las relaciones lógico-causales que explican:

- El cambio (según un patrón de relación procesual) de las *causas* a sus *efectos* (por ejemplo, para explicar “el ciclo de la evaporación del agua” en Ciencias de la Naturaleza); o bien,
- La argumentación desde unas *premisas* fundamentales, establecidas en un modelo teórico, a las *deducciones* que conforman esa Teoría (por ejemplo, a partir de los presupuestos teóricos de las fuerzas centrales podemos deducir que la órbita de una partícula libre se mantendrá en un plano constante).

c) Si elegimos, por último, un contenido *conceptual*, los componentes críticos en este caso serían sus *atributos* esenciales (como por ejemplo las características de los gases ideales); los *elementos funcionales* (las funciones del potenciómetro); o en su caso las *partes* (partes del potenciómetro), conectados

por relaciones semánticas de pertenencia a cada uno de esos conceptos generales que hemos ejemplificado.

El profesor debe entonces considerar como prerrequisito de aprendizaje la existencia y activación de conocimientos previos para que esas relaciones sean auténticamente “significativas” (y no meramente arbitrarias) en la mente del alumno. Además, esa significatividad aumentará si el profesor evita las largas enumeraciones de características que definen un concepto, y proporciona en cambio comparaciones transversales con las de otros conceptos generales ayudando también al alumno a establecer por sí mismo *criterios* que enriquezcan la comparación.

El análisis de las implicaciones metacognitivas del contenido organizador es un aspecto indispensable para la ambiciosa pretensión de desarrollar modelos de *Instrucción Basada en los Procesos* (Asman y Conway, 1989). Objetivo que Reigeluth nunca llegó a plantearse explícitamente.

Al impulsar un camino intermedio entre el análisis del contenido epistemológico y el de las destrezas de la tarea a instruir, ofrece, sin embargo, el marco más sólido para enfrentarse al desarrollo de estrategias metacognitivas sobre la base de los propios contenidos curriculares. Teniendo en cuenta estos presupuestos, es plausible considerar la anterior revisión de los componentes críticos de un contenido organizador como un primer paso para poder convertir un contenido curricular en un marco donde “enseñar a pensar” a los alumnos. El análisis diferencial de las categorías y relaciones que el alumno debe explicitar y contrastar en cada contenido, así como los instrumentos de representación para sintetizarlo, permiten que el docente pueda diseñar también objetivos y actividades de *mediación* metacognitiva integrados en la enseñanza diaria.

Muchos docentes se extrañan de la enorme dificultad de los alumnos para responder en los exámenes a preguntas que ellos mismos llaman “de relacionar”. Como hemos visto, este requerimiento presupone que el alumno, además de recordar las ideas más importantes es capaz de poner en funcionamiento un conjunto de estrategias de comparación en las que probablemente nadie le entrenó. Debe identificar y reorganizar las características de ambos conceptos objeto de comparación; establecer unos criterios adecuados para realizar una contrastación por pares entre dichas características; inferir incluso aquellas que quizá no estuvieran recogidas explícitamente en sus “apuntes de clase” para poder completar los pares que pudieran quedar sin pareja; y ser capaz de representar sintéticamente todo esto de forma que pueda traducirse sin ambigüedades.

Los mapas semánticos (mapas conceptuales, diagramas de flujo, etc.) pueden constituirse en este contexto en un recurso didáctico imprescindible para mediar la capacidad de activación de relaciones conceptuales en la memoria operativa del alumno, de modo que este tenga un mínimo de recursos libres para

enfrentarse a su análisis interno; para trascender y manipular un contenido, hasta entonces de apariencia “monolítica”.

Día a día, estamos confirmando que el entrenamiento “situado” curricularmente de todas estas estrategias, sólo es posible si cada profesor reflexiona sobre las exigencias cognitivas que se pueden derivar del contenido que va a impartir y diseña actividades específicas en este sentido. Dichas actividades deben conformarse progresivamente como pequeños foros para una discusión metacognitiva en el que el alumno consolide hábitos de inferir y justificar verbalmente con precisión la relación semántica o causal entre conceptos, así como evaluar y discutir en grupo las contradicciones y ambigüedades, las relaciones inconsistentes, los conceptos omitidos en los mapas que ellos mismos elaboran.

Una vez que el estudiante es capaz de reconocer y generar por sí mismo estrategias para representar un contenido aumenta su responsabilidad activa en la comprensión, por cuanto este se enfoca como un complejo “puzzle” donde uno mismo debe construir las piezas que faltan o no encajan adecuadamente. Para ello, debe habituarse progresivamente a planificar, evaluar y auto-regular diferencialmente la comprensión de cada contenido de aprendizaje.

En definitiva, aunque la teoría de la elaboración ha sido aplicada casi exclusivamente a la secuenciación de contenidos curriculares en la Enseñanza Secundaria, su vigencia puede reafirmarse en otras direcciones de creciente importancia. La posibilidad de construir nuevos modelos de Instrucción Basada en los Procesos, integrados conscientemente en el diseño curricular, amplía las posibilidades didácticas para conseguir que, junto al aprendizaje de los propios contenidos curriculares, el alumno trabaje sistemáticamente nuevas estrategias de pensamiento.

4. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Como puede verse, la teoría de la elaboración ofrece un sólido marco teórico para el diseño de secuencias instruccionales en la Educación Secundaria. Sin embargo, desde nuestro punto de vista, debe complementarse con un estudio no menos profundo de su aplicación a la idiosincrasia de cada área de conocimiento. Como ya hemos mostrado en trabajos anteriores (Montanero, 1994), en el caso de la Física las especificaciones epistemológicas y didácticas se revelan con tanta claridad que son necesarias nuevas aportaciones, e incluso modificaciones, que faciliten diseños instruccionales auténticamente coherentes y realistas.

En este sentido, nuestra propuesta de modificación se centra en la importancia de considerar los *fenómenos físicos como contenidos organizadores* para la enseñanza de la Física. Ello lleva aparejado un doble cuestionamiento, crítico y prescriptivo, respecto al desarrollo teórico que hemos presentado anteriormente.

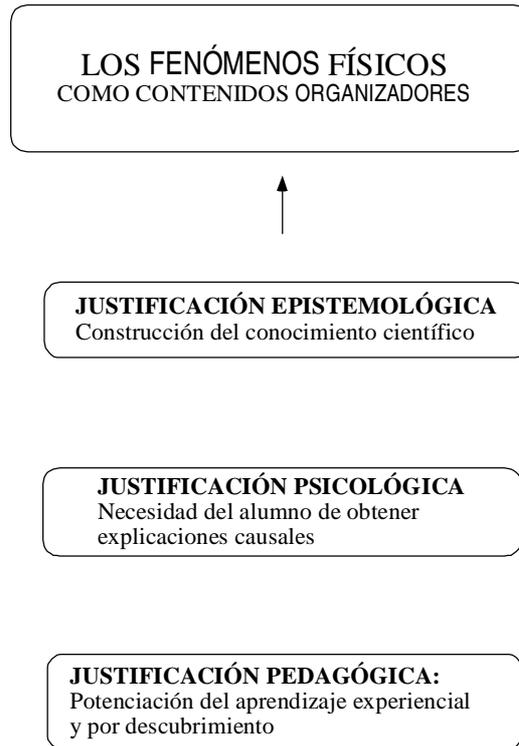
En cuanto al primero, es importante reseñar que hasta ahora no se había considerado el “fenómeno” como un tipo de contenido con entidad propia y susceptible de vertebrar las secuencias instruccionales en la enseñanza de la Ciencia. El fenómeno como contenido de enseñanza no puede subsumirse en la acepción de “principio”, ni mucho menos equipararse simplícidamente con la del “hecho” por tener un carácter concreto. Tampoco estamos de acuerdo con reducirlo didácticamente a la categoría de “actividad” más o menos experiencial que se presenta a los alumnos para apoyar el aprendizaje de un conjunto de contenidos. Desde nuestro punto de vista el fenómeno de observación puede adquirir también, en función del diseño instruccional que planifiquemos, una suficiente consistencia didáctica como contenido vertebrador de todo el proceso de enseñanza.

En segundo lugar, además de reivindicar esta consideración didáctica, es importante orientar la toma de decisiones del docente con respecto a la elección del contenido organizador. En este sentido, defendemos que, para conseguir un mejor aprendizaje, las secuencias instruccionales en la Física *deben* vertebrarse en torno a la jerarquización de los fenómenos físicos correspondientes a los contenidos seleccionados. Es decir, el fenómeno no sólo puede asumir el papel de *contenido organizador* en el diseño didáctico, sino que de hecho es el más apropiado cuando aplicamos la teoría de la elaboración a la enseñanza de la Física. Esta afirmación se fundamenta teóricamente en tres razones:

La primera justificación, de carácter *epistemológico*, se relaciona con los procesos de construcción del conocimiento científico. La observación de la realidad, concretada en la variedad de fenómenos físicos, es el punto de partida fundamental, aunque no el único, en el proceso de generación de las teorías científicas. Además, todo principio o concepto científico se compone de elementos definicionales inevitablemente limitados por el contexto factual en el que se verifican (pensemos por ejemplo en concepto de “presión”, que en la teoría cinética se define en términos de choque de partículas contra la pared, y en la hidrostática, en cambio, por el peso sobre la unidad de superficie de columnas de líquidos). Nada más lejos de nuestra intención que sostener una concepción positivista de la ciencia (según la cual las teorías físicas son algo así como meras copias de la realidad); pero entendemos que difícilmente el alumno estará capacitado para profundizar en el sustrato epistemológico de la Física si el desarrollo de su *estructura psicológica* durante el aprendizaje no se vincula directamente a la observación y análisis de los fenómenos que constituye ese contexto factual.

Por otro lado, existe una justificación de índole ya exclusivamente *psicológica* que viene dada por la misma necesidad del alumno de obtener explicaciones causales en el aprendizaje de la Física. En realidad, en ninguna otra área de conocimiento los hechos proporcionan con tanta claridad condiciones necesarias y suficientes para establecer relaciones causales. Muchas de las *teorías espontáneas o implícitas* que a menudo interfieren en el proceso de enseñanza-aprendizaje se generan en gran parte por esta necesidad, insuficientemente satisfecha en la enseñanza formal. Su modificación, antes de conseguir un auténtico “cambio conceptual”, requiere la provocación de variados “conflictos factuales” (Pozo, 1990), entre las observaciones que el alumno registra ante un determinado fenómeno y las predicciones que inicialmente realizaba, a partir de su Teoría implícita. Por lo que, tanto la reestructuración de las relaciones erróneas, como la facilitación de hipótesis causales adecuadas, requieren una prevalencia de las actividades de observación y análisis de los fenómenos físicos a lo largo de toda la secuencia instruccional.

Por último, como justificación *pedagógica*, la consideración de los fenómenos como eje didáctico favorece la utilización de diversas estrategias de aprendizaje experiencial y por descubrimiento. Estas metodologías han cobrado un gran auge en los últimos años, especialmente en el ámbito de la enseñanza de la Ciencia. Sin embargo, para que este enfoque no se reduzca al diseño de actividades puntuales, debe vincularse a una secuenciación de los contenidos en la que la observación y el análisis de los fenómenos tenga una relevancia constante a lo largo de todo el proceso.



Sobre los anteriores presupuestos, resumidos en el gráfico podemos entonces plantear una serie de conclusiones con una doble pretensión, teórica y práctica, dirigida a ampliar, por un lado, las implicaciones didácticas de la teoría de la elaboración en el ámbito específico de la enseñanza de la Física; y por otro, a aumentar su operatividad y las prescripciones prácticas que el docente tanto demanda. Desde el punto de vista teórico, debemos entonces considerar tres aspectos fundamentales en la aplicación de la teoría de la elaboración a la enseñanza de la Física:

- La primacía que deben adquirir los fenómenos en el desarrollo del epítome.
- La consideración de dos grandes niveles de elaboración, *causal* y *legal*, en las macrosecuencias didácticas de la Física en la Educación Secundaria.
- La importancia clave de considerar actividades de detección y el tratamiento de las teorías implícitas en torno a los contenidos de nuestra secuencia de aprendizaje.

Desde el punto de vista práctico, estas cuestiones pueden concretarse en una serie de orientaciones didácticas para el diseño de los elementos fundamentales de la secuencia elaborativa. En el siguiente cuadro hemos sintetizado cada uno de los *pasos* que el profesor de Física debe desarrollar en los tres niveles de elaboración que proponemos para la Educación Secundaria. A continuación, pasamos a analizar cómo afectan las anteriores aportaciones en cuanto al diseño del epítome y los niveles de elaboración a todo este proceso.

Fases de diseño

- 1°. Representación de la estructura lógica de la materia (Mapas de experto)
- 2°. Selección de los contenidos de los diferentes niveles de elaboración
- 3°. Diseño de actividades de detección de teorías implícitas
- 4°. Diseño del primer nivel de elaboración
 - 4.1. Confección del epítome del 1er nivel de elaboración: diseño y activ.
 - 4.2. Diseño de actividades de desarrollo de los contenidos del primer nivel de elaboración
 - 4.3. Epítome ampliado
 - 4.4. Diseño de actividades de evaluación
- 5°. Diseño del segundo nivel de elaboración
 - 5.1. Confección del epítome del 2º nivel de elaboración: diseño y activ.
 - 5.2. Diseño de actividades de desarrollo de los contenidos del segundo nivel de elaboración
 - 5.3. Epítome ampliado
 - 5.4. Diseño de actividades de evaluación
- 6°. Diseño del tercer nivel de elaboración
 - 6.1. Confección del epítome del 3er nivel de elaboración: diseño y activ.
 - 6.2. Diseño de actividades de desarrollo de los contenidos del tercer nivel de elaboración
 - 6.3. Epítome ampliado
 - 6.4. Diseño de actividades de evaluación

CAPÍTULO 2

LOS FENÓMENOS FÍSICOS COMO CONTENIDO ORGANIZADOR. LOS MAPAS DE EXPERTO TRIDIMENSIONALES

1. RELEVANCIA DE LA PERCEPCIÓN DE LOS FENÓMENOS PARA EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

La percepción, funcionalmente hablando, “es el proceso mediante el cual obtenemos información de primera mano sobre el mundo que nos rodea [...] supone una respuesta discriminativa, selectiva, a los estímulos del entorno inmediato.» (Flavell, 1984). No es de nuestro interés entrar en consideraciones sobre las posturas que asignan un origen psicológico u otro a la percepción (las innatistas, en un extremo, y las empiristas, en el opuesto), pero cualquiera que sea el planteamiento del que se parta, sí es conveniente referirse aquí a dos enfoques a la hora de analizar los cambios cognitivos que produce en el sujeto el hecho perceptivo.

1. Aspectos descriptivos.

La descripción del proceso de cambio efectuado en el sujeto consiste en que se produce «*un incremento en la habilidad de un organismo para conseguir información de su entorno, como consecuencia de la práctica con el tipo de estimulación proporcionado por ese entorno.*» (Flavell, 1984, p.171). Nos interesa, por tanto, destacar en este punto que la práctica del proceso perceptivo proporcionará al sujeto dos adquisiciones fundamentales: la sensibilidad perceptiva a un estímulo determinado que le permita discriminar unos rasgos informativos de otros y, lo que más nos interesa, la capacidad de captar aspectos que se mantienen invariantes en el objeto percibido (*formación de invariantes*).

Estos invariantes (que en los fenómenos físicos van a formar parte sustancial del nexo causal), son fundamentales para la construcción intelectual de nuestro mundo físico. Es decir, según esta teoría, podemos detectar perceptivamente la estructura del mundo que nos rodea, proporcionándonos esta observación una información física, de primera mano, enormemente rica e insustituible.

2. Aspectos explicativos.

El desarrollo de la percepción se explica como parte integrante del propio desarrollo psicoevolutivo. Posee por tanto una base enteramente cognitiva que se manifiesta mediante tres procesos:

- La abstracción de rasgos y relaciones *invariantes*.
- La filtración de los otros rasgos secundarios o irrelevantes.

- La utilización, correctamente dirigida, de los mecanismos de atención a los rasgos importantes que ofrezca el objeto percibido.

O sea, aplicando lo dicho sobre los aspectos descriptivos y explicativos de la percepción al ámbito del aprendizaje de la Física, podríamos admitir, a modo de conclusión práctica, la necesidad de tener en cuenta, en la elaboración de una secuencia instruccional, la forma de potenciar en el alumno una percepción selectiva que le ayude a captar los rasgos y las relaciones invariantes que se dan en los fenómenos físicos, las cuales serán la base para dar una explicación causal de los mismos.

Esta relevancia de la percepción en los hechos físicos es claramente defendida por Osborne y Wittrock en la exposición que hacen de su Modelo de Aprendizaje Generativo (Osborne y Wittrock, 1985): «La fundamental premisa del aprendizaje generativo es que el sujeto tiende a generar percepciones y significados que sean consistentes con sus aprendizajes previos [...]. La construcción de significados requiere un esfuerzo por parte de los alumnos, y los enlaces deben ser *generados* entre el estímulo y la información almacenada.».

En este modelo se hace específicamente hincapié en lo primordial que es la información adquirida a través de la percepción de los hechos físicos y cómo está dirigida por las ideas previas que posee el sujeto. Algunos de los postulados del modelo, así como los ejemplos a los que los mismos autores los aplican, enriquecen nuestro punto de vista:

- «Las ideas existentes en los estudiantes influyen en qué uso harán de sus sentidos y de qué manera la inteligencia podrá activamente seleccionar los “inputs” sensoriales.» (Flavell, 1984; p.64). Cuando a un alumno se le dice que observe las fuerzas que intervienen en un fenómeno dinámico; si para el alumno —guiado por sus teorías espontáneas— las fuerzas las confunde con los ímpetus, no mirará para las interacciones.
- «El alumno genera enlaces entre el “input” seleccionado y parte de su memoria almacenada.» (Flavell, 1984; p. 65). Por ejemplo, un estudiante no familiarizado con la Física es improbable que genere enlaces para la idea de la gravedad que está actuando sobre una bola que rueda cuesta abajo, cuando oye al profesor decir que «actúa» una fuerza. El alumno enlazará esta idea no con el concepto de fuerza, sino con el “input” sensorial de alguna experiencia específica que él haya sentido cuando caía por una cuesta.
- «El estudiante usa los enlaces generados y los “inputs” sensoriales para construir activamente los significados.» (Flavell, 1984; p. 65). La consecuencia de los dos postulados anteriores en el aprendizaje de los alumnos la expresan los autores en este tercer postulado y su consiguiente

ejemplo de aplicación: del “input” oído al profesor, «existe una bola rodando cuesta abajo», y de la experiencia específica almacenada en su memoria, genera un enlace sobre el cual construye el significado de la nueva idea. Pero nuestro estudiante no físico muy probablemente no podrá extraer de aquí la idea de una fuerza gravitatoria actuando sobre el cuerpo, sino que puede pensar en la fuerza como si fuera un impulso del suelo duro o como una fuerza interior que posee el cuerpo en virtud de su velocidad.

Este último ejemplo, tan oportuno, de Osborne y Wittrock es evidente que nos conduce de nuevo al problema de la génesis de las teorías implícitas —ya ampliamente desarrollado en este trabajo— y de su influencia en el aprendizaje de la Física, sobre el que insistiremos en nuestro cuarto punto de crítica la Teoría de la Elaboración. En lo que respecta a los aspectos perceptivos, es lo que Brown, en contra de la concepción empirista, llama *percepción significativa*: «en respuesta a la opinión de que la percepción proporciona hechos puros, se arguye que el conocimiento, las creencias y las teorías que ya sustentamos juegan un papel fundamental en lo que ya percibimos.» (Brown, 1984; p. 105).

Hay que reconocer que los autores de la Teoría de la Elaboración conceden importancia a los hechos y consideran que, en cualquier materia, el conocimiento experiencial constituye una estructura de conocimiento a tener en cuenta a la hora de elaborar una secuencia de instrucción. Pero en el caso del aprendizaje de la Física la dependencia de los hechos es definitiva, ya que “en ciencia nos interesan las condiciones que definen las relaciones causales, esto es, relaciones de *hechos*, más que relaciones lógicas” (Theobald, 1978; p. 98).

Ni en la descripción de la Teoría de la Elaboración, ni tampoco en la aplicación que de ella hace Reigeluth (Reigeluth, 1987), observamos prescripciones que vayan encaminadas a promover, potenciar y jerarquizar el conocimiento experiencial y tampoco a desarrollar, dirigir y organizar la percepción de los hechos físicos. La detallada lección ilustrativa de Óptica que Reigeluth expone es una secuencia de instrucción que está basada en una estructura de principios (leyes físicas como movimiento rectilíneo de la luz, reflexión, refracción, absorción), en el que, con gran acierto, se analizan las dimensiones tanto de lo simple-a lo-complejo como de lo concreto-a lo-abstracto, pero en la que, por una parte, no se aprecia ni una clara jerarquización de los hechos físicos ni, asimismo, una atención preferente dirigida a organizar en los alumnos la percepción de los “inputs”, y, por otra, se percibe una reiterativa y monótona repetición de los principios a lo largo de toda la secuencia, en la que le faltaría una referencia —motivadora para el estudiante— a un *contexto de descubrimiento* (Brown, 1984) que una buena sistematización de hechos físicos podría proporcionar.

2. MAPAS DE FENÓMENOS Y MAPAS TRIDIMENSIONALES

Un mapa conceptual es un procedimiento gráfico para explicitar nuestro conocimiento sobre conceptos y relaciones entre los mismos en forma de proposiciones verbales (Novak y Gowin, 1983). El conocimiento que vamos construyendo sobre un área de contenidos determinada debe conformarse como un sistema de conceptos progresivamente más rico y coherente. La representación de estas relaciones semánticas se concreta en un mapa conceptual en torno a dos dimensiones: la vertical, donde se especifica la relación de pertenencia jerárquica entre los conceptos (de manera que en la parte superior se localizan los más generales e inclusivos, y en la inferior, los más concretos, hasta los mismos ejemplos); y la horizontal, donde se especifican las relaciones entre conceptos de un mismo nivel de generalidad, así como las conexiones transversales entre diferentes ramas conceptuales. Como es conocido, para elaborar un mapa conceptual debemos realizar al menos cuatro operaciones básicas:

- Desglosar los conceptos claves de un determinado contenido, colocándolos en columna, de mayor inclusividad a menor.
- Distribuirlos de forma arbórea en diferentes niveles unidos por líneas.
- Rotular las líneas con palabras de enlace entre los conceptos, que permitan construir proposiciones.
- Señalar gráficamente otros enlaces cruzados que conecten conceptos de distintas ramas.

Desde la propuesta inicial de Novak, la popularización de los mapas conceptuales ha sido extraordinaria en todos los niveles educativos desde la Educación Infantil (Pérez y Talladellas, 1996) hasta la enseñanza universitaria (Peña, Calvo, Suero, Suárez, 1989); pero especialmente en Primaria y en prácticamente todas las áreas de contenido de la Educación Secundaria, y particularmente en la enseñanza de la Ciencia Naturales, como por ejemplo en la Física (Rubio, 1992; Braam, 1991; Lopez Rupérez, 1991...), la Química (Hand y Treagust, 1991; Stensvold y Wilson, 1990; Camacho, 1989...), la Biología o la Geología (García Zaforas, 1991; Banet y Nuñez, 1990; Boschhuizen, 1988; Hoz, Kozminsky y Bowman, 1987...).

Se trata, en definitiva, de un potente instrumento que facilita el análisis interno de un determinado contenido, explicitando sus relaciones lógicas y sus niveles de complejidad para diferentes propósitos. En un trabajo anterior (Pérez;

Suero; Montanero; Montanero, 1998), hemos justificado ya la extraordinaria divulgación de los mapas conceptuales en todos los niveles educativos, en cuanto a tres grandes aplicaciones: como *estrategia de aprendizaje*, como *estrategia de evaluación procesual* y, sobre todo, como *estrategia para facilitar y operativizar el análisis de la estructura lógica* de un contenido de enseñanza que el profesor debe realizar de cara al diseño de una unidad didáctica (lo que hemos llamado “mapa de experto”).

Por un lado, como *estrategia de aprendizaje*, los mapas conceptuales facilitan la síntesis de la información de un determinado contenido, de manera que han sido muy difundidos como “técnica de estudio” que facilita la jerarquización semántica de las ideas más importantes extraídas de un texto expositivo, así como la especificación de las relaciones de pertenencia, definición, causalidad, argumentación, etc., entre conceptos. Además de estrategia que facilita la lectura comprensiva y activa por parte de los alumnos, su indiscutible potencialidad icónica y holográfica no sólo favorece los procesos de recuperación de la información, sino que lo convierten incluso, para algunos autores, en un instrumento de especial interés para el aprovechamiento de los dos hemisferios cerebrales (Hdez Pina, 1992).

Por otro lado, como *estrategia de evaluación procesual*, el mapa conceptual puede ser utilizado como instrumento de evaluación inicial, formativa y final de los aprendizajes de los alumnos, ya sea para detectar los conocimientos previos, teorías implícitas o errores conceptuales de los alumnos, como para visualizar paso a paso el proceso del aprendizaje significativo y, de esa manera, incidir más específicamente sobre él.

En cuanto al instrumento cualitativo para el análisis observacional del producto de una conducta, podemos valorar al menos tres “criterios” del aprendizaje significativo de conceptos:

- En primer lugar, podemos evaluar la cantidad y calidad de las relaciones jerárquicas que el alumno ha sido capaz de elaborar, comparándolo con un mapa-modelo que confeccionemos, como criterio previo, a partir de la “estructura lógica” del contenido.
- En segundo lugar, podemos también cuantificar el número de niveles de la jerarquía. Si el alumno representa muchos niveles es probable que haya realizado un proceso profundo de “diferenciación progresiva”, utilizando adecuadamente estrategias de “subordinación” y “supraordinación”). Por el contrario, los mapas excesivamente horizontales suelen revelar una clara dificultad para emplear estrategias semánticas de alto nivel.
- El último criterio puede cuantificarse a partir del número de nexos transversales que representen la integración de diferentes ramas de conceptos. En este caso, esta cuantificación nos permite valorar hasta qué

punto el alumno es capaz de realizar procesos de síntesis, con estrategias de aprendizaje “supraordinado” y “combinatorio”.

Para llevar a cabo dicha evaluación, el docente puede planificar tres tipos de actividades, según el momento del proceso de enseñanza-aprendizaje. Si el alumno necesita una mayor “mediación” para organizar el conocimiento puede ser interesante utilizar mapas conceptuales previamente elaborados por el profesor pero con los huecos pertinentes para completar los conceptos y relaciones que falten. En momentos posteriores podemos ya proporcionarles varios conceptos de un determinado contenido y pedirles que construyan un mapa completo. La evaluación final, aunque también procesual, una vez que se ha adquirido una suficiente soltura en el empleo de la técnica, puede plantearse a partir de un sólo concepto clave, para que el alumno construya un mapa con el resto de los conceptos que sea capaz de asociar al mismo...

Pero, como decíamos al principio, el mapa conceptual no es sólo un instrumento útil para la instrucción y evaluación de contenidos conceptuales. La aplicación didáctica más interesante se debe, por último, a su utilidad como estrategia para *facilitar y operativizar el análisis de la estructura lógica* de un contenido de enseñanza que el profesor debe realizar de cara al diseño de una unidad didáctica. Una de las aportaciones más interesantes de la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, 1978) a la planificación didáctica, se resume en que el profesor debe realizar previamente un análisis sistemático de las relaciones lógicas entre los contenidos científicos que conforman la materia. La utilización para este fin de una estrategia de representación como el mapa conceptual nos aporta tres soportes fundamentales en el proceso de reflexión colaborativa del docente:

- Permite confrontar visualmente la organización de los contenidos de la materia, de modo que se aprecian con más claridad las posibles lagunas y relaciones epistemológicas menos consistentes, que puedan restarle potencialidad significativa;
- Facilita una organización jerárquica, que marca los posibles caminos didácticos que el profesor puede seguir desde los conceptos más generales hasta los más específicos; y, sobre todo,
- Se convierte en un marco de diálogo, en una herramienta de trabajo en equipo, que permite confrontar los contenidos semánticos explícitos o implícitos sobre los que cada uno organiza la materia.

Esta última ventaja es quizá la más relevante de cara a potenciar actitudes y estrategias de reflexión colaborativa en el profesorado. Una vez que se domina la técnica del mapa, su elaboración se convierte en un “puzzle de conceptos” donde cada uno puede apreciar sus lagunas y sus puntos de vista erróneos al poder confrontarlo con el de los compañeros, también especialistas en la

materia. La planificación pedagógica sólo es verdaderamente fructífera cuando se lleva a mediante estrategias que faciliten la reflexión colaborativa del profesorado, en el marco del trabajo de los departamentos y los equipos docentes. El mapa conceptual como estrategia de diseño didáctico se ha convertido, en definitiva, en una de las herramientas pedagógicas más útiles para la práctica docente.

Por nuestra parte, desde hace más de quince años venimos comprobando la utilidad de los mapas conceptuales, tanto en nuestros trabajos de investigación en este campo, como en los más de cincuenta cursos de Formación del Profesorado en los que hasta la fecha hemos participado (como organizadores o como ponentes). De hecho, en la evaluación que realizan los asistentes se constata que los mapas conceptuales son las herramientas didácticas que obtienen una mayor valoración de cara a su utilidad para la profesión docente. Esta buena valoración resulta más relevante si se tiene en cuenta la diversidad de la tipología de estos cursos (y por extensión de los asistentes): desde cursos de formación inicial (tanto en el Curso de Aptitud Pedagógica, como en los cursos de doctorado o como en la asignatura optativa de “Didáctica de la Física” que recientemente se oferta en la licenciatura de Ciencias Físicas de la Universidad de Extremadura); hasta los cursos de formación permanente organizados por diversas instituciones dependientes del M.E.C. (Centros de Profesores y Recursos, Centro de Desarrollo Curricular...); los cursos de actualización científica y didáctica organizados por Institutos de Ciencias de la Educación o por distintos Departamentos universitarios acogidos a convenios con el M.E.C.; o los cursos de formación a distancia, como los organizados por la Televisión Educativa Iberoamericana.

A pesar de todo, el mapa conceptual no está tampoco exento de ciertas limitaciones y, a pesar de su reconocida potencia didáctica, no deja por ello de ser aún un instrumento mejorable de cara a su aplicación para el análisis de contenido en el diseño didáctico. Estas limitaciones se hacen patentes desde el momento en que pretendamos utilizar el mapa conceptual como herramienta de representación del epítome y la secuencia elaborativa. Como acabamos de argumentar, es muy importante que el profesor otorgue una relevancia tal a los fenómenos físicos que lleguen a constituirse en el eje que vertebré todo el proceso de aprendizaje, de forma que los demás se engarzen como contenidos de apoyo del mismo. La toma de decisiones sobre el contenido organizador supone un primer obstáculo para la utilización didáctica del mapa conceptual como tal. Desde nuestro punto de vista, resulta muy enriquecedor que el profesor de Física haga una distinción previa entre la representación de los “conceptos” que organizan la materia y la de los “principios” que vertebran a todos los anteriores. Este laborioso análisis de contenido no es en modo alguno gratuito. Desgranar los principios de los conceptos propiamente dichos constituye el prerequisite metodológico fundamental para después construir un

epítome con ayuda de un nuevo tipo de mapa: el “*mapa de fenómenos*”. En realidad, no deberíamos hablar tanto de “mapas de conceptos” en general como de “mapas de experto” de muy diferente tipo, en función de la demanda de cada tarea.

Pero además, ya hemos insistido en la necesidad de organizar la secuencia de aprendizaje de estos contenidos en diversos *niveles de elaboración*. Cada una de las fases de acercamiento del zoom al contenido específico de la materia supone pues un nivel mayor de elaboración de aquel epítome inicial. Es en este punto donde podemos incorporar un nuevo recurso que amplifique la utilidad de los mapas de experto: se trata de lo que hemos denominado *tridimensionalidad*.

El mapa conceptual sintetiza el contenido en función de una dimensión vertical, correspondiente a las relaciones de pertenencia semántica entre cada concepto y otros más generales a los que se subordina, y otra horizontal, que permite visualizar aquellos que se relacionan en un mismo nivel jerárquico. El *mapa tridimensional*, sin embargo, es un mapa de experto que facilita la representación en un tercer vector: la “profundidad” de los contenidos, es decir, los diferentes niveles de elaboración que podemos establecer en la secuencia instruccional.

Para ello utilizamos dos tipos de enlaces: en primer lugar, las tradicionales líneas (etiquetadas proposicionalmente) que unen los diferentes contenidos entre sí (enmarcados generalmente en rectángulos o elipses) y que son el soporte de la dimensión vertical y horizontal, antes mencionada; y, en segundo lugar, algunos de esos mismos contenidos (cuyos marcos aparecen además sombreados), que se convierten en un enlace de “profundidad” que conecta con otro mapa.

La utilidad didáctica del mapa tridimensional se debe fundamentalmente a su soporte informático. En nuestro caso, hemos utilizado el programa de ordenadores Macintosh MacFlow (versión 3.7.4.), que es en realidad una aplicación más evolucionada de programas anteriores que sólo permitían confeccionar mapas y diagramas de flujo en dos dimensiones. Y para los ordenadores PC compatibles el programa FlowCharter (versión 6.0). El mapa tridimensional es en realidad un “hipermapa” que permite al usuario simular y recorrer libremente los caminos de subordinación y supraordinación a lo largo de un sistema conceptual jerarquizado.

Con todo, creemos que la potencialidad de este instrumento no se limita a una cuestión operativa. En el CD-ROM adjunto a esta memoria se puede fácilmente comprobar las posibilidades de utilización de los mapas de experto tridimensionales como una nueva herramienta didáctica que facilite, no sólo la representación de la estructura lógica de una materia, sino también la simulación de secuencias de enseñanza-aprendizaje desde la teoría de la elaboración. En cada mapa tridimensional los contenidos fundamentales del epítome, que aparecen sombreados en un primer mapa, sirven de “nódulo de enlace” con un

segundo mapa que reorganiza y desarrolla los mismos contenidos en sucesivos niveles de elaboración.

Esta sencilla modificación soslaya otra de las principales limitaciones a la hora de aplicar los mapas conceptuales desde el enfoque de Ausubel. Parece discutible que un mismo instrumento, el mapa conceptual, sirva para representar, tanto la estructura lógica de la materia como la jerarquía conceptual de la misma. La propia acepción de “estructura lógica” tiene un carácter epistemológico y, sobre todo, estático, como análisis previo del profesor o como estado final de los conocimientos que se pretende que el alumno construya. La “jerarquía conceptual”, sin embargo, tiene una connotación dinámica; de manera que la técnica de representación más adecuada debería permitir visualizar de alguna forma la secuencia de aprendizaje, de acuerdo con los sucesivos estadios de diferenciación progresiva de la estructura psicológica del alumno. Los mapas tridimensionales operativizan estas continuas “subidas” y “bajadas” y se aproximan particularmente a una cierta simulación de ese proceso cíclico de “zoom”, a través de los diferentes niveles de elaboración a los que se refiere Reigeluth.

El mapa tradicional puede representar una jerarquía de conceptos de lo más general a lo más detallado. La potencia del tridimensional reside en su doble capacidad de integración. Por un lado, permite jerarquizar varios mapas en niveles sucesivos de complejidad, integrando, como hemos explicado, las dos vías, ascendente y descendente, en una sola secuenciación en “espiral”. Por otro lado, esta versatilidad le convierte en el “mapa de experto” por antonomasia, dado que facilita la integración en un mismo soporte de diferentes herramientas que vamos a necesitar para representar los contenidos del epítome y de la secuencia elaborativa en general; es decir, mapas conceptuales, mapas de principios y sobre todo, los mapas de fenómenos.

3. EL EPÍTOME COMO DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS INICIAL DE LOS FENÓMENOS. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Como hemos insistido, la progresión desde las actividades del primer epítome hasta las de los últimos niveles de elaboración debe seguir un camino de lo concreto a lo abstracto. Sin embargo, en contra de lo que a veces se piensa, el grado de abstracción no se encuentra tanto en la idea objeto de enseñanza, como en la forma de presentarla al alumno. En el epítome inicial debemos presentar esos elementos en un claro nivel de aplicación experiencial mediante una metodología de observación y análisis de los fenómenos físicos. En los diferentes niveles de elaboración el proceso debe ir ganando abstracción

a partir de la reflexión teórica que el alumno estará ya en disposición de hacer, sobre una base “pre-conceptual” y fuertemente cargada de elementos activos y perceptivos que favorece su anclaje.

Uno de los saltos que la teoría de la elaboración deja sin resolver y que el docente debe realizar desde los anteriores presupuestos al diseño didáctico específico se refiere, por otro lado, a cómo determinar esos niveles que permiten secuenciar ese camino instruccional hacia adquisiciones con un grado mayor de abstracción.

La dificultad en la práctica educativa se centra en la estructuración de los contenidos de lo más *general* e inclusivo a lo más *específico* y detallado (como proponía Ausubel), al mismo tiempo que de lo más *básico* a lo más *complejo* (como proponía Gagnè). La consideración de los fenómenos como *contenido organizador* nos permite operativizar la solución a esta aparente paradoja. La primera vía (de lo más general a lo más específico) viene delimitado por el *mapa de fenómenos* que el profesor debía construir para jerarquizar los fenómenos físicos, relativos a los contenidos a enseñar en el epítome inicial y en los diferentes niveles de elaboración.

Con respecto a la segunda, la dificultad inicial de la teoría estriba en conjugar un índice alto de generalidad y amplitud con la facilitación de aprendizajes inicialmente poco complejos. Como argumentaremos en el siguiente capítulo, la orientación general que debe tener en cuenta el profesor consiste en reservar el epítome, sobre todo en el primer nivel de elaboración, para que el alumno realice observaciones y descripciones concretas de los fenómenos planteados, elaborando relaciones causales que expliquen los *cambios* en los hechos a observar. En las últimas actividades del primer nivel y especialmente en los siguientes, de forma progresiva, debemos facilitar que el alumno se plantee relaciones (que llamaremos “legales”) que permiten analizar los fenómenos como *estados* de interacción no simplemente causal, y susceptibles de formularse matemáticamente.

En definitiva, la primera dificultad que el profesor suele encontrarse se centra en cómo diseñar un epítome que además de ofrecer una visión panorámica de los contenidos fundamentales, lo haga en un nivel suficientemente experiencial y de aplicación. El esquema para construir el epítome en la enseñanza de la Física debe estar dirigido a facilitar al alumno la observación y el análisis inicial de fenómenos que llevan implicados los diversos contenidos de enseñanza, teniendo en cuenta tres elementos fundamentales que aparecen el siguiente cuadro.

Confección del Epítome

1. Representación del EPÍTOME (Mapa de fenómenos)
2. Determinación de la EXPLICACIÓN CAUSAL BÁSICA (ECB)
3. Diseño de CONTENIDOS DE APOYO y PLANTEAMIENTO

Antes de la representación de la estructura lógica de los contenidos de Física puede resultar útil la explicitación previa del conjunto de principios y conceptos nucleares que necesitamos abordar a lo largo del proceso de instrucción. En realidad, la estructura lógica combina estos y otros tipos de contenidos interrelacionados. Sin embargo, de modo orientativo, la extrapolación de un mapa conformado exclusivamente por principios puede resultar una buena estrategia para obtener otras dos representaciones, que tienen ya un carácter auténticamente prescriptivo en nuestro método de secuenciación: el mapa de la estructura lógica (como referencia del estado último al que debe tender nuestra actuación sobre la estructura psicológica del alumno) y, sobre todo, el mapa del epítome (como diseño de los primeros pasos de dicha actuación).

A primera vista, puede parecer contradictorio el hecho de que, considerando el mapa de la estructura lógica como el punto de referencia de ese “estado último”, sea sin embargo uno de los primeros pasos del diseño didáctico. No olvidemos que aquello que en el proceso de aprendizaje es para el alumno psicológicamente posterior, para el profesor, en cambio, puede ser didácticamente anterior.

De todas formas, es importante insistir en que, aunque la representación de la estructura lógica se aproxime a un estado final, ni mucho menos especifica el proceso diacrónico para llegar a ella. Afirmar lo contrario sólo podría traducirse en un modelo curricular lineal; a diferencia del curriculum en espiral, que transcurre más bien “helicoidalmente”, en diferentes niveles de elaboración, a través de la estructura psicológica del alumno. Esta es la función del resto de mapas que incluimos en nuestra secuencia elaborativa. En el caso del mapa de fenómenos del epítome, una estrategia orientativa para su elaboración, por parte del profesor, podría operativizarse en dos pasos:

- Desarrollar al máximo las diferentes ramas del mapa de principios
- Determinar un “nivel de vertebración” (estableciendo un “punto de corte” en el mapa de principios, conformado por los fenómenos más inclusivos que abarcan a las diferentes ramas del mapa)

En los anexos 1 al 4 de esta memoria se pueden confrontar diversos ejemplos correspondientes a secuencias de aprendizaje en la Física de Secundaria. En primer lugar, elaboramos un mapa de experto que contiene los principios que pretendemos instruir. Este análisis previo nos proporciona una reflexión útil para representar la estructura lógica de la materia, pero, sobre todo, es un buen heurístico para extraer los fenómenos que abordaremos en los diferentes epítomes, utilizando siempre fenómenos, en lugar de principios, para los nodos más inclusivos del mapa resultante (consultar por ejemplo el mapa del epítome inicial de Termodinámica y el mapa del epítome del 2º nivel de elaboración en el anexo 1).

Por último, antes de diseñar las actividades de enseñanza-aprendizaje que permitirán desarrollar la anterior propuesta en la práctica del aula, consideramos importante que el profesor reflexione sobre dos elementos más. La Explicación causal Básica (ECB) que es necesario que el alumno induzca a lo largo del epítome, así como los conocimientos previos para afrontar el aprendizaje significativo de cada nivel de elaboración.

La importancia central que, desde nuestro enfoque, tiene la *ECB*, no sólo para la construcción del epítome, sino para el “andamiaje” del desarrollo cognitivo del alumno (que pretendemos promover con cada secuencia elaborativa), justifica suficientemente su consideración independiente en el próximo capítulo.

Por su parte, *el contenido de apoyo* hace alusión a esos conocimientos previos (fundamentalmente de carácter conceptual) de los que el alumno necesitará hacer uso para abordar las diferentes actividades. Es importante que el profesor vaya introduciendo estos contenidos progresivamente como complemento instruccional, en función de las necesidades de los alumnos y los requerimientos de la tarea.

Frecuentemente se constata en los profesores lo que podríamos llamar una “tendencia a la exahustividad” (tal vez procedente de una forma anterior de concebir el aprendizaje) que nos impele a “explicar” los contenidos agotando al máximo, desde el primer momento, todos los detalles concretos y abstractos que conforman los conceptos y las teorías. De acuerdo con la teoría vigotskiana sobre la formación de conceptos, sin embargo, la construcción de los significados por parte del alumno requiere pasar por una fase previa en la cual el concepto aún se encuentra vago o difuso. A esta fase corresponde el nivel de aprendizaje de los conceptos de apoyo. Esta nueva filosofía solicita del profesor la formación, preparación y paciencia (incluso, cierto carisma pedagógico) para que, en estos estadios iniciales del aprendizaje, el alumno sólo comience a atribuir un significado superficial a los conceptos que está manejando (por ejemplo, en general, se puede decir que no es conveniente definir las unidades físicas de una magnitud nueva) y, al mismo tiempo, se sienta motivado a

terminar y completar aquella atribución, siendo consciente de que es él quien construye tales significados y que el profesor es un *mediador* que se lo facilita. Por lo tanto, no solamente no es malo que las ideas queden todavía sin perfilar, sino que, por el contrario, es coherente con una auténtica interpretación de la teoría constructivista del aprendizaje.

Para terminar el epítome, debemos presentar al alumno el *contenido de planteamiento*. Las actividades que se proponen al alumno como descripción de fenómenos deben abocarle a plantear las relaciones causales pertinentes (las teorías) entre los conceptos que ha empezado a elaborar. Es un paso más en la reflexión sobre la experiencia anterior, propiciada sobretudo por una presentación (como ya se ha dicho antes) en un nivel de aplicación, es decir, que comprometa la *acción* del alumno en la búsqueda de explicaciones. Nuevamente, se trata de una fase muy motivante para el alumno si los profesores tenemos la habilidad de explotar la necesidad cognitiva que todo sujeto tiene de encontrar explicaciones causales a lo que ve, con la componente *afectiva* que de aquí pudiera derivarse, si las condiciones y clima de la clase son adecuados para hacer que el alumno se comprometa de una forma más plena en su propio proceso de aprendizaje.

CAPÍTULO 3

CAUSALIDAD Y LEGALIDAD COMO CRITERIO PARA ESTABLECER LA SECUENCIA ELABORATIVA

1. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS Y COGNITIVOS DE LA CAUSALIDAD

El objetivo prioritario de la Física es la explicación de los hechos de su ámbito de competencia, y tal *explicación* tiene como componente básico el pensamiento causal, en su sentido más amplio. De acuerdo con Halbwachs (1983), por definición no deberíamos hablar propiamente de una explicación física excepto cuando nos encontremos en presencia de un enunciado (de una teoría) que permite prever hechos cualitativamente nuevos en relación a los hechos iniciales, o que revele un vínculo nuevo entre los hechos que aparecen cualitativamente diferentes. Es más, según Lakatos (citado por Pozo, 1987), “se puede decir que una proposición es científica sólo si se trata de expresar un conocimiento causal”.

Además, de esta relevancia epistemológica de la causalidad en la construcción de la Ciencia, como luego veremos, es importante caer en la cuenta de la “pregnancia” de lo causal en la mente del individuo que se enfrenta al aprendizaje científico. Es decir, la necesidad cognitiva de establecer explicaciones causales de los fenómenos físicos que abarca el proceso de instrucción. De ahí, la enorme importancia de aclarar el funcionamiento y el papel de los mecanismos causales en las secuencias de aprendizaje.

De acuerdo con la tradición racionalista diremos que existe una *relación causal* cuando un primer hecho (causa) *transmite* algo de sí mismo a otro segundo (efecto). Dentro de este enfoque, y en contra de la visión empirista, la existencia de un *nexo* es fundamental en la relación de causación. El *nexo* explica qué es lo que se transmite, y lo que se transmite no es un observable, es algo *inferido* por el sujeto. Sobre estos presupuestos, en toda relación causal podemos distinguir tres componentes: las condiciones o principios que definen el *nexo* causal (principios de “transmisión generativa”), las *teorías* causales que el sujeto elabora y, finalmente, *las reglas de inferencia* que utiliza.

1. Principios de transmisión generativa: el *nexo* causal.

La causa tiene una relación genuina con el efecto, es decir, hay una transmisión real de algo entre la causa y el efecto (*nexo* causal). El *nexo* definido en este principio cumple tres condiciones universales:

- La *constancia*: las mismas causas provocan siempre los mismos efectos.
- La *condicionalidad*: la correlación causa-efecto no afirma nada sobre la naturaleza de los hechos, sólo establece las condiciones necesarias para que se produzca un efecto.

- La *asimetría*: no se puede intercambiar la secuencia causa-efecto, tanto en el sentido *existencial* (la causa es existencialmente distinta al efecto), como en el *temporal*: (el efecto no puede producirse antes que la causa, aunque sí simultáneamente).

2. Teorías causales.

En toda teoría causal es posible distinguir dos tipos de elementos: semánticos y sintácticos. Los aspectos *semánticos* o de contenido hacen referencia a la naturaleza fáctica de las transmisiones causales. Se trata de los conceptos, preconcepciones y esquemas causales que el sujeto aplica en la explicación. Por ejemplo, en el caso de la colisión de dos piedras, la teoría causal que explica la naturaleza del nexo se fundamenta en el constructo de “transferencia de cantidad de movimiento” de un cuerpo al otro, según el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

Por otro lado, desde el punto de vista sintáctico, estas ideas se organizan en una estructura causal que puede ser de varios tipos según la relación que se establece entre las variables y según el número de las mismas.

Así, podemos distinguir fundamentalmente dos tipos de razonamiento causal:

- *Razonamiento causal lineal*: en el que modificación de una variable del sistema físico provoca la de otra, la cual, a su vez, puede modificar una tercera, y así sucesivamente, sea de forma recta, ramificada o mixta, según el número de efectos, o bien directa o inversa, en función del efecto cuantitativo que se produce.
- *Razonamiento causal cíclico o recíproco*: en el que la modificación de una o más variables del sistema físico provoca el reajuste simultáneo de todas las variables para obtener un nuevo equilibrio. Es un caso límite de cumplimiento de la condición de “asimetría” en la cual la causa y el efecto se dan simultáneamente; la explicación causal propiamente dicha hay que buscarla en otra inferencia más profunda (como veremos en la “explicación batígena” más adelante). Es el caso de la relación que podríamos inferir entre presión y volumen en un gas perfecto contenido en un recipiente a temperatura constante (si la presión aumenta el volumen disminuye).

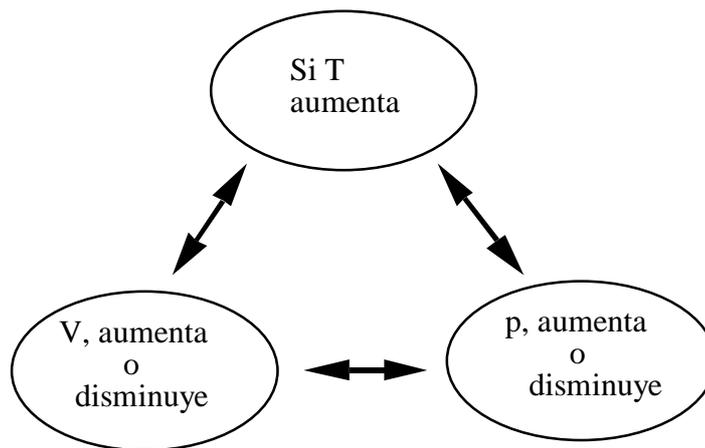
Por otro lado, según el número de variables simultáneas que intervengan podemos distinguir otros dos tipos de razonamiento.

- *Razonamiento causal simple*: implica una covariación simple, es decir, que la modificación de la variable, e, depende exclusivamente de una sola variable, c. Matemáticamente se expresa así: $e = f(c)$. Es el caso de la relación causal que podemos inducir en un cuerpo de masa constante, donde a mayor fuerza, mayor aceleración.

- *Razonamiento causal múltiple*: implica una covariación múltiple, en la que la condicionalidad puede ser “suficiente” o “necesaria”.

En el primer caso, basta con que varíe una de las variables para que se produzca una modificación en la variable, e. Su expresión matemática es: $e = f(c_1, c_2, c_3, \dots)$. Aquí, las variables son independientes entre sí, es decir, no están ligadas por ninguna relación matemática. En general, son todos los casos llamados de “control de variables”. Un ejemplo claro lo posibilita un péndulo simple en el que $T = f(l, g)$, de manera que si la longitud aumenta el periodo disminuye.

Será “necesaria” si la variable, e, depende de la acción *conjunta* de todas las variables, ci. Representa, por tanto, estados de equilibrio, en donde la inferencia causal hay que encontrarla en una explicación más profunda (son, por lo tanto, razonamientos causales cíclicos). Su expresión matemática es: $f(e, c_1, c_2, c_3, \dots) = \text{constante}$. Todas las variables están, pues, relacionadas matemáticamente por la expresión dada, como en el caso del gas contenido en un recipiente:



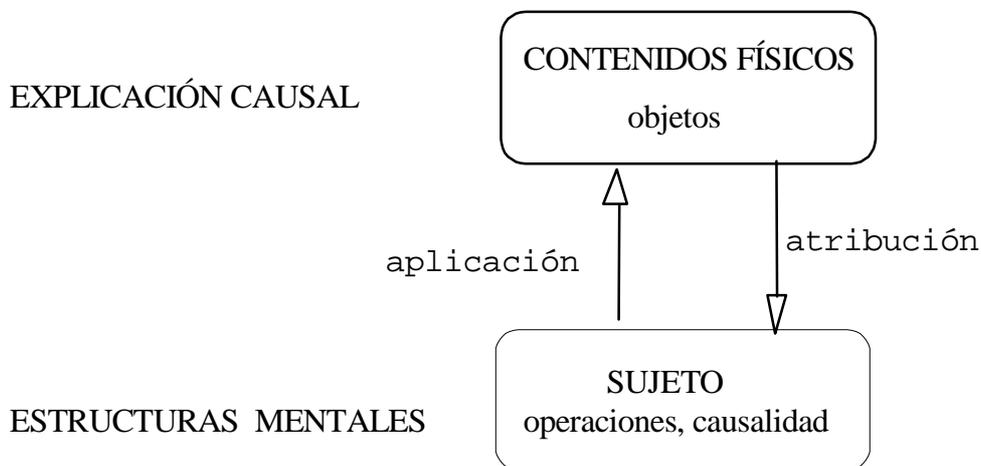
3. Reglas de inferencia

Para elaborar una teoría causal el sujeto parte de unos datos organizados de una determinada forma según una propiedades que extrae (atribuye) del comportamiento observado en los objetos y, a partir de los cuales, se infiere una transformación (que explica los cambios que han ocurrido).

Piaget es uno de los autores que más ha profundizado en el estudio de estos mecanismos psicológicos que posibilitan el establecimiento de relaciones

causales. Una importante revisión de estos trabajos desarrollada por Huang (1943) señala los puntos críticos de esta teoría, sobre todo en la idea de causalidad del niño preoperacional. Críticas que, según trabajos más recientes como el de Peter Lanford (1987), no tienen en cuenta sin embargo la época final de la obra del autor ginebrino (en torno a 1971).

Para Piaget, la causalidad es una forma específica de pensamiento, obtenida por inferencia de hechos repetidos, aunque existe una importante diferencia con el resto de operaciones mentales: «de manera general y desde el punto de vista de su interpretación genética, las operaciones equivalen a transformar lo real y corresponden, así, a lo que el sujeto puede hacer con los objetos en sus manipulaciones deductivas o deducibles [...], en tanto que la causalidad expresa lo que hacen los objetos al actuar los unos sobre los otros y sobre el sujeto [...]» (Piaget y García, 1973; p. 15). El *sujeto* realiza pues diferentes operaciones mentales sobre los objetos (clasificaciones, seriaciones, numeraciones, medidas...), mientras que en la inferencia causal “los objetos se dejan tratar sin imponer al sujeto una de estas operaciones más que la otra.» (op. cit.; p. 38). En lenguaje piagetiano se dice que estas operaciones son *aplicadas* a los objetos, en cambio, en el pensamiento causal, son los *objetos* los que actúan y el sujeto se somete a los hechos observados, atribuyéndoles una determinada relación, según las reglas de composición operatoria, como se esquematiza en el siguiente diagrama tomado de Pacca y Saraiva (1989)



De todas formas, tanto las operaciones como la causalidad proceden de las *acciones* que, física o mentalmente, realiza el sujeto con o en presencia de los objetos. Estas acciones comienzan por una *abstracción simple*, que se produce

a partir de las propiedades observables de los objetos y sus variaciones. Tal tipo de abstracción es la que conduce al establecimiento de un hecho general, por ejemplo, cuando se observa que la colisión de dos piedras da siempre lugar a la modificación de sus movimientos. Se termina en una *abstracción refleja*, más compleja porque es obtenida a través de las operaciones que el sujeto realiza con los datos anteriormente abstraídos. En la causalidad el sujeto no se conforma con entender el comportamiento de los objetos y va más allá infiriendo de los resultados de aquellas abstracciones la explicación de tal comportamiento. Se produce, en definitiva, una inferencia de lo observable que dará lugar a la explicación que llamamos teoría causal.

Así, cuando, por ejemplo, un sujeto dice que, en la colisión de dos piedras, una empuja a la otra, añade, además, que la primera transmite a la segunda “algo” que lleva. En general, en este comportamiento de los objetos hay siempre algo que se transmite y, por lo tanto, se transforma, pero hay, al mismo tiempo, una conservación. En palabras de Piaget, «la transformación, concebida a la vez como fuente de producción (modificación cinemática del objeto pasivo) y de conservación relativa (puesto que algún movimiento, etc. ..., se transforma sin desaparecer» (Piaget y García, 1973; p.95). La causalidad, pues, no expresa meramente que el hecho B sucede siempre al A (mera covariación), sino que es necesario desentrañar la transformación que ha dado lugar a ese paso. En este sentido, las acciones atribuidas al objeto poseen una *necesidad* explicativa que es el corazón mismo de la causalidad, y quizá también, en nuestro caso, de la Física.

De todas formas, no existe una contraposición entre operaciones lógicas y causalidad. Ambas procedentes de las acciones que el sujeto realiza con los objetos, se complementan y se desarrollan paralelamente. El conocimiento de ciertos hechos causales puede favorecer el desarrollo de las operaciones concretas y formales, en tanto que la explicación de aquellos hechos causales se ve favorecida por el desarrollo de la estructura operativa pertinente. Este paralelismo en las construcciones de las operaciones y de la causalidad debe ser aprovechado convenientemente para potenciar la enseñanza de la Física, prestándole un interés pedagógico que trasciende su propio ámbito, sobre todo en los primeros niveles de la instrucción.

Como ejemplo de esta conjunción expondremos sucintamente los resultados de uno de los muchos casos estudiados por la Escuela de Ginebra (Piaget y García, op. cit.). La operación cuyo desarrollo se analiza es la *transitividad operatoria*, según la cual el sujeto llega a comprender que si $A=B$ y $B=C$, será $A=C$ (ésta constituye la base cognitiva para que el sujeto luego pueda seriar, clasificar, etc.). El fenómeno causal observado consiste en una serie de bolitas, en contacto, formando una fila, y otra bolita que golpea a la colocada en el primer lugar de la fila. La acción se transmite de forma mediata (distinguiéndose

de otra forma posible de transmisión, la inmediata) de un extremo al otro del conjunto de bolitas.

Ya en el nivel I (preoperacional) se llega a concebir el pasaje del movimiento a través de las bolas como un encadenamiento de transmisiones inmediatas (la primera empuja a la segunda, etc.) sin que nada atraviese las bolitas. En el nivel II, la explicación de esta transmisión mediata tampoco es bien comprendida. Posee una forma de comprensión semi-interna: se entiende que el esfuerzo entre bola y bola sí pasa a través de ellas. Pero, al mismo tiempo, hay una forma semi-externa: el esfuerzo pasa pero porque las bolas avanzan todas un poco, aunque no se vea. En cambio, en el nivel III, se entiende que la transmisión sea totalmente interna (por vibraciones).

En esta situación causal, la vecindad de los objetos, A, B, C, ... , unida a la idea de que algo se transmite, facilita al sujeto la comparación de elementos por pares, $A=B$, $B=C$, etc. Paralelamente, la aplicación de la lógica operatoria (operación mental) propia de las estructuras cognoscitivas permite que esa comparación de pares no tenga que ser necesariamente de algo físico que se transmite (relación causal) , sino de la transmisión de una simple forma (transitividad operatoria). Por último, el inferir mediante la relación de causalidad (o física) que $A=C$ (el movimiento que ha ganado C es el que ha perdido A), coincide con la conclusión de la lógica operatoria de comparación por pares, si $A=B$ y $B=C$, entonces $A=C$. Los dos tipos de pensamiento, pues, sin perder su especificidad, se desarrollan interactivamente.

En otros trabajos ya hemos defendido ampliamente dos afirmaciones fundamentales (Montanero, 1994). En primer lugar, «*se puede legítimamente suponer que el carácter preoperatorio del pensamiento en el estadio I obedece a una falta de diferenciación suficiente con las relaciones causales.*» (op. cit.; p. 145). Esta falta de diferenciación entre los dos tipos de pensamiento se traduce en manifestaciones como el animismo (v.g, las nubes se mueven por sí solas, estando el movimiento condicionado al deseo de las propias nubes a moverse).

Se trata, pues, de un tipo de pre-causalidad y no de causalidad en sentido estricto, porque ésta necesita—como ya hemos expuesto—la concurrencia de las operaciones lógicas que en este estadio aún no se han formado. Las *funciones* del tipo $y=f(x)$ que Piaget define dentro de la última fase del nivel I (5-7 años) (Flavell, 1984), y que el niño mediante abstracción simple puede elaborar, no son tales relaciones causales (crítica equivocada de algunos autores desconocedores de las ideas de Piaget en su última época), sino covariaciones a las que falta lo esencial de la relación causal, a saber, la explicación.

Estas concepciones animistas se van abandonando paulatinamente a tenor del propio desarrollo psicoevolutivo, por lo que no radica aquí nuestro interés, sino en el del próximo estadio de las operaciones concretas.

En segundo lugar, «*es, pues, en el estadio II donde se efectúa esa diferenciación [entre operación y causalidad], pero ésta sigue siendo aún limitada y la primera cuestión es comprender el porqué. En efecto, las operaciones llamadas “concretas” sólo son parcialmente disociadas de su contenido [...]*» (Piaget y García, 1973; p. 147).

Efectivamente, en este período (que suele comenzar a los 7 años) aparece el pensamiento causal pero restringido por las *resistencias* de los contenidos. Es decir, el tipo de contenido que se esté tratando en el hecho causal, influye de tal manera que puede dominar por encima de la operación mental propia de ese nivel (que constituyen esos primeros *décalages*). Piaget admite, aunque tal vez no suficientemente, esta influencia de los contenidos (Linn et al, 1983; op. cit). En dichas edades, los contenidos relativos a estos fenómenos mecánicos causales se encuentran aún muy “pegados” a estructuras mentales anteriores, que retroceden, incluso, hasta los *esquemas de acción*. Los sujetos todavía poseen ideas sobre el funcionamiento de los objetos basadas en esas organizaciones intelectuales más rudimentarias, que les impide la utilización de su propia lógica operatoria.

Por otra parte, esta lógica del estadio II es aún muy limitada y elemental en los primeros momentos, sin poseer la capacidad de utilizar las relaciones combinatorias, características de este período cuando ya está consolidado. «De esto resulta que, como el pensamiento operatorio no procede así sino por “contigüidades”, es decir, de uno en uno (a falta de la combinatoria), la causalidad resultante de estas atribuciones sólo conocerá consecuencias en cierto modo unilineales en el orden del tiempo [...] y del espacio[...]» (Piaget y García, 1973; p. 148).

2. “LO CAUSAL” Y “LO LEGAL” EN EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Un «hecho» es un observable concreto (v.g., una piedra en movimiento golpea a otra que estaba en reposo y ésta sale despedida). Cuando las consecuencias de un hecho se repiten muchas veces, produciéndose de la misma manera, se establece un «hecho general», es decir, una «ley». Una ley es, por lo tanto, inductiva y, aunque pueda ser expresada matemáticamente, no conlleva ninguna inferencia causal (Piaget y García, 1982). Existe aquí una diferencia importante entre lo «legal» y lo «causal» que requiere aclaración.

Por una parte, la legalidad comporta únicamente la verificación de lo observable. Así, cuando la piedra móvil choca con la otra en reposo, se observa que esta última adquiere un movimiento. El observador se limita a hacer una lectura de estos hechos y a extraer una relación—que puede incluso expresarse

matemáticamente—y que él aplica al comportamiento observado de los objetos. Si bien esta dependencia legal es algo comprobado, no por eso posee una necesidad intrínseca; es, simplemente, una constatación que llamamos inferencia legal.

Un sencillo ejemplo puede ayudar a clarificar esta diferencia. Supongamos que se conviene con un trabajador darle una prima adicional de ‘c’ pesetas por cada día ‘x’ trabajado. La cantidad total ‘y’ que perciba será: $y = cx$

Se trata de una relación «legal», en donde no aparece inferencia causal (no hay ningún nexo real, ya que el criterio es puramente arbitrario) entre la variable independiente y la función, porque no existe ninguna propiedad “atribuida” a los objetos que determinen, necesariamente, la relación citada, aunque ésta pueda expresarse matemáticamente. Es, como se ha dicho, de una relación “aplicada” a los objetos, “lógicamente necesaria”.

Por el contrario, la explicación causal va más allá de lo observable y trata de inferir cuál ha sido el comportamiento de los objetos que, necesariamente, ha dado lugar a aquellas transformaciones. En el ejemplo del choque de las piedras, el sujeto atribuye a éstas unas propiedades que explican su comportamiento. En este caso, la propiedad atribuida es la capacidad de los objetos de transmitir ‘movimiento’ (“cantidad de movimiento”, diría un físico), de tal forma que lo que uno da (y, en consecuencia, pierde), el otro lo gana. Esta explicación, que trasciende lo observable y que es intrínsecamente necesaria para dar cuenta de la relación observada, la llamamos inferencia causal. Entraña, como dirían los filósofos, una “necesidad natural” (Theobald, 1978). En definitiva, como ya explicamos, podemos pensar que la inferencia causal opera sobre unas propiedades *atribuidas* a los objetos, mientras que la inferencia legal lo hace sobre unas propiedades o relaciones *aplicadas* a los mismos.

Suele producirse un cierto confusionismo respecto de los aspectos que acabamos de describir; por una parte, por la tendencia—ya referida—de los alumnos a las explicaciones causales y, por otra, por la falta de claridad en las intervenciones de los profesores, o, si apuramos el argumento, por la falta de intervención del profesor. En resumen, podríamos decir que en la construcción del conocimiento científico se dan los siguientes pasos:

- 1º Determinar el hecho observable.
- 2º Obtener la ley (o leyes) como expresión numérica de un resultado inducido.
- 3º Reformular, eventualmente, las leyes anteriores en un sistema legal más inclusivo.
- 4º Buscar la explicación causal mediante la construcción de un modelo teórico (bien es verdad que, en ocasiones, algunos pasos se entremezclan,

como puede ocurrir cuando el físico busca los resultados legales apoyándose ya en hipótesis de explicaciones causales).

En la elaboración de las teorías implícitas, como ya explicaremos, es obvio que falta completamente esta sistemática, de tal forma que toda la construcción está desde un principio basada en la búsqueda de argumentos causales. Veamos un ejemplo de fenómeno físico en donde se pueden percibir claramente los pasos antes señalados para la obtención de una teoría explicativa de los mismos.

El hecho observable es un gas en expansión, encerrado en un recipiente. Según la 1ª Ley (hecho general), la relación inducida entre V y T (volumen y temperatura) es $V/T = \text{cte}$. Esta relación viene “obligada” por los datos obtenidos, es decir, es simplemente una expresión numérica de esos datos. Por lo tanto, está “aplicada” a los contenidos de la experiencia (al volumen y a la temperatura del gas). Sin embargo, no implica ninguna “necesidad” de dar una explicación de por qué las cosas suceden así (lo cual es independiente de que el físico intente un paso más y busque tal explicación, que ya pertenecería al terreno de las inferencias causales).

Por su parte, la 2ª Ley (hecho general) expresa la relación inducida entre p y V (presión y volumen) donde $pV = \text{cte}$ (se dan las mismas características que en el paso anterior).

En tercer lugar, el sistema legal más inclusivo, por combinación matemática de las leyes anteriores, se obtiene una expresión más general:

$$pV :: n RT$$

Por último, ya hemos dicho que ninguna de estas relaciones explican por qué las cosas suceden así: no explican los cambios, sólo hacen referencia a los estados. La búsqueda de esa explicación “causal” que se apoyaría, por tanto, en:

- Un sistema físico, conocido por el sujeto en forma de “objeto modelo”, que él construye mediante la abstracción de determinados aspectos del primero (gas, formado por partículas duras, de dimensiones despreciables, encerrado en un recipiente de paredes rígidas y adiabáticas).
- Un conjunto de leyes “aplicadas” a los objetos (lo “legal”, anteriormente expuesto).
- Una serie de operaciones “atribuidas” a los objetos, que son interiores a sus estructuras—“propiedades”, por tanto—y explicativas de las transformaciones, originando una teoría causal: el gas se comporta como un conjunto de partículas que colisionan elásticamente de acuerdo con las leyes de estos tipos de interacciones, lo cual explica los cambios observados de p, V y T. Como puede apreciarse, ahora no se hace referencia a los estados, se explican los cambios.

Veamos un segundo ejemplo. El hecho observable es la colisión plástica de dos cuerpos. La primera ley (hecho general): $p = \text{cte}$; la segunda expresa que

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

El sistema legal más inclusivo se formularía como

$$\vec{F}_1 = \frac{\Delta \vec{p}_1}{\Delta t}; \quad \vec{F}_2 = \frac{\Delta \vec{p}_2}{\Delta t}; \quad \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Y, por último, pasando a la explicación causal, en la colisión se produce una transferencia de cantidad de movimiento de un cuerpo a otro.

Esta es la forma de proceder en las teorías científicas. La orientación, por el contrario, en las teorías implícitas es muy distinta. Como analizaremos en el próximo capítulo, en las teorías implícitas, aún partiendo de lo “legal” y utilizando los mismos instrumentos para la construcción del conocimiento los intereses son diferentes, centrados más en explicar los cambios que los estados. Hay que partir de este supuesto para comprender la forma natural de proceder un alumno, así como las dificultades que encontrará al enfrentarse a la elaboración de teorías sistemáticas que, a veces, son presentadas por la instrucción como si pertenecieran a sus modos habituales de razonamiento. Estas circunstancias se ven agravadas por la inclinación de la Física superior por lo “legal” en detrimento de lo “causal”. Como hemos dicho, el camino “natural” de la construcción del conocimiento científico es pasar de lo legal a lo causal. En las teorías implícitas se constata la clara debilidad de los enunciados legales (o la carencia de ellos) así como su falta de coherencia.

No obstante, es necesario advertir que las “definiciones” no son “enunciados legales” (Bunge, 1978), porque las primeras relacionan entre sí conceptos—formas convencionales, aunque no arbitrarias—y los segundos relacionan proposiciones con la realidad obtenida de los datos. Así, la expresión $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ es una “definición” y $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ es un “enunciado legal”, como más adelante tendremos ocasión de analizar. También debemos insistir en que es necesario distinguirlas de las explicaciones causales que pudieran ofrecerse para dar cuenta del comportamiento del sistema (una vez que se disponga de un “objeto modelo”), las cuales evidentemente han de ser coherentes con dichas leyes. También pueden obtenerse leyes por reformulaciones *a posteriori* de las explicaciones causales, lo cual hace aún más complejo el panorama. Es el caso—por nombrar uno muy significativo—de las leyes de Maxwell, obtenidas

por la aplicación de nuevas teorías del campo eléctrico y magnético. En consecuencia, la relación $\mathbf{F}=\mathbf{ma}$ no debe ser considerada como una explicación causal, como casi siempre es señalada en los libros de texto; lo cual apoya una crítica didáctica demoledora contra una secuenciación de contenidos ya tradicional en la enseñanza de la Física

3. EXPLICACIÓN CAUSAL Y MODELOS TEÓRICOS SUBYACENTES

Como acabamos de ver, las teorías físicas poseen una construcción perfectamente jerarquizada en los siguientes pasos:

1. *El sistema físico:*

Es el primer escalón de esta jerarquía y está formado por los objetos físicos, perfectamente diferenciados de lo que es exterior al sistema y claramente identificados en todo instante, incluso a través de los posibles cambios que hubiere. Por ejemplo, un sistema físico podría ser un péndulo, formado por un hilo suspendido por un extremo y una esferita colgada del otro. Otro sencillo ejemplo lo constituirían dos esferas de acero situadas en sendos puntos del espacio que delimita el laboratorio.

2 *El objeto modelo:*

Es una representación esquemática de aquel sistema, formado mediante la abstracción de ciertas características del mismo. Se da aquí una restricción intencionada con la intención de facilitar la representación mental del sistema físico. De esta manera, se renuncia a algunos de los rasgos o propiedades de los objetos que componen el sistema y se fija la atención en aquellos que interesan.

El objeto modelo del péndulo antes descrito sería lo que llamamos “péndulo simple”: el hilo se supone sin masa e inextensible y de la esfera sólo interesa su masa, pero no el volumen, densidad, etc., reduciéndose a un punto material.

En el ejemplo del sistema físico formado por las dos esferas, tal vez nos interesara ignorar la existencia del campo gravitatorio, o del rozamiento y empuje del aire, así como del tamaño de dichas esferas, etc.

3. *El sistema teórico*

Este tercer paso en la construcción de las teorías físicas consiste en asignar al objeto modelo unos estados, determinados por unas magnitudes claramente definidas. Si bien un objeto modelo no tiene que ser exclusivo de un sistema teórico concreto (por ejemplo, el objeto modelo formado por partículas

puntuales puede pertenecer tanto a la teoría cinética de los gases perfectos como a cualquier otra parcela de la Física Estadística), éste sí es específico (aunque no único) de cada tipo de fenómeno físico.

En el ejemplo del péndulo que venimos utilizando, los estados se referirían a las distintas posiciones que puede tener el péndulo, incluyendo el conocimiento de velocidades, aceleraciones, energía, etc. Es decir, la definición de los estados de este sistema teórico implicaría la utilización de conceptos como: masa, posición, velocidad, aceleración, etc.

Se trata, por tanto, de un conjunto de conceptos que vamos a llamar “factuales” (Bunge, 1978) y que son peculiares de la Física. Hay que advertir que un concepto factual puede ser “empírico”, como los expresados más arriba o “no empíricos”, como, por ejemplo, las fuerzas generalizadas, Q_i , en la Mecánica de Lagrange, o la función de estado, \square , en la Mecánica Cuántica. A estos conceptos factuales se le añaden otros “formales”, propios de las matemáticas (en nuestro ejemplo estarían incluidos como conceptos formales las funciones trigonométricas y los del cálculo diferencial).

4. *El modelo teórico:*

Hay que construir un “modelo teórico”, formado por el sistema teórico unido a un conjunto de enunciados legales—casi siempre reformulados—obtenidos a partir de la inducción propia de los hechos generales. Es necesario advertir que el conjunto de conceptos (tanto factuales como formales) que sirven de apoyo a la formulación de las leyes, dependerá del camino elegido para obtenerlas—es decir, del tipo de explicación—como vamos fácilmente a comprobar en la aplicación a los ejemplos que venimos utilizando.

En el caso del péndulo simple, el enunciado legal—reformulado—es la ecuación del movimiento:

$$x = A \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T}t$$

que, junto a los datos iniciales, determina todos los estados del movimiento.

5. *La teoría general:*

Un modelo teórico siempre pertenece a una “teoría general”, que es la construcción científica más amplia. La teoría general es el marco en el cual se relacionan distintos modelos teóricos que poseen supuestos básicos comunes. Las teorías generales son, pues, referencias amplias sin poder operativo en sí mismas, porque no definen el objeto modelo sobre el que actuar. Su función es el establecer un marco general de relaciones al que sistematizar distintos modelos teóricos. Por ejemplo, una teoría general es la Mecánica Clásica.

El modelo teórico no es la realidad (como parece desprenderse de las intervenciones de algunos profesores); en todo caso posee una estructura isomórfica con esa realidad, que incluso, como acaba de verse, puede ser interpretada de distintas formas. Es por lo tanto un error didáctico (Martinand, 1986), que ocasiona graves perjuicios en el aprendizaje, hablar en las clases de física del punto material o del rayo luminoso—por poner unos ejemplos muy comunes—como si fueran la realidad misma.

De hecho sucede que a lo largo de la instrucción—sobre todo universitaria—se le propone al alumno, en un corto espacio de tiempo, distintos modelos de un mismo sistema físico, presentados a veces como si se tratara de la propia realidad. Es fácil comprender el caos al que el estudiante deberá enfrentarse en tales circunstancias, sobre todo cuando se aplican métodos de enseñanza muy volcados en el desarrollo de un aparato matemático complejo y de espaldas a un trabajo de clarificación de su sentido físico.

Existen modelos teóricos, ya obsoletos, que han sido sustituidos por otros superiores, en un proceso de inclusión sucesiva que continuará indefinidamente, de tal forma que hablar de éste o aquél modelo como *verdadero* es contrario, bajo un punto de vista epistemológico, al espíritu científico mismo. La importancia de esta forma de entender la ciencia está bien expresado en estas palabras: «A este respecto, desde el punto de vista de la significación y del valor del conocimiento científico, *la inclusión sucesiva* de modelos y su relación con los niveles sucesivos de la experiencia proporciona la enseñanza más profunda y completa de la física [...]» (Halbwachs, 1983; p. 153).

La cuestión didáctica que de forma inmediata viene a plantear lo anteriormente expuesto es qué tipo de modelo es el más apropiado en cada momento para ser utilizado en la instrucción. Que nosotros sepamos, la coordinación didáctica de modelos teóricos (la “modelización”) es un trabajo que aún está por hacer (Beléndez, Pascual, Rosado, 1989), y que, además, cuenta con la resistencia inicial por parte de muchos profesores a introducir—si fuera didácticamente conveniente—modelos que ellos *consideran* que ya no son *correctos* (seguro que esta opinión irreflexiva está sustentada en la idea de que ‘correcto’ es igual a ‘verdadero’).

No se nos pasa por alto la importancia que estas ideas tienen respecto del carácter más o menos fenomenológico de la Mecánica Cuántica. Debate que aún sigue abierto, polarizado entre la visión de la llamada “escuela de Copenhage” (Bohr y otros) y el punto de vista del denominado “realismo crítico”, de una minoría muy significativa de grandes físicos, como Einstein, De Broglie, etc.(puede verse, por ejemplo, a este respecto Bunge, 1978, cap 4 y 5; Silleri, 1986; d' espagnat, 1983).

4. LA EXPLICACIÓN CAUSAL BÁSICA. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Como hemos analizado detenidamente, la causalidad se forma y se desarrolla a través de las operaciones que el sujeto *atribuye* a los objetos. De ahí la importancia de poner en contacto al alumno, desde los primeros momentos de la secuencia instruccional, con una iniciación a la explicación causal —que va a constituir la teoría causal del sistema físico considerado— mediante el análisis del comportamiento que presentan los objetos en los fenómenos físicos. De tal manera que aquella jerarquía en la construcción de las teorías científicas debe estar fuertemente acomodada a los hechos que conforman los fenómenos a los que ellas se refieren, aspecto no recogido suficientemente en la Teoría de la Elaboración.

Al mismo tiempo, es importante que toda secuencia instruccional de Física esté dirigida a la formación de los conceptos científicos. Para Vygostki, dicha formación debe comenzar por una fase *espontánea* e inductiva que evoluciona de lo concreto a lo abstracto, para llegar luego a una fase *científica* en la que la instrucción debe proceder en sentido inverso, es decir, se parte de su relación jerárquica con las leyes que los contienen para luego ser aplicados a situaciones concretas, de tal forma que, en su estado final, «todo concepto físico [científico] forma parte, al menos, de una ley física.» (Bunge, 1978; p. 50). En este sentido, la exposición de Reigeluth y Stein, bien ajustada tal vez a otros campos, adolece en el caso de la Física de estar excesivamente centradas en las últimas fases (los principios) de la construcción del conocimiento científico y de no ser suficientemente adecuada a los pasos previos en la formación de los conceptos.

Por último, desde el punto de vista cognitivo, es constatable en los alumnos la preferencia y hasta la necesidad de elaborar explicaciones causales en el aprendizaje (“pregnancia de lo causal”). Desde el punto de vista epistemológico, no existe una clara distinción entre explicar y describir, ya que «la función explicativa original de un concepto y de los enunciados en donde aparece se encuentra gradualmente inmersa, hasta cierto punto, en su función descriptiva.» (Theobald, 1978; p. 64). Por todo ello es conveniente didácticamente que se busque, en primer lugar, la explicación causal de los fenómenos físicos, aunque sea en un contexto descriptivo de los mismos. En realidad, es así, precisamente, como procede el físico.

Por ejemplo, si consideramos la teoría cinética de los gases, el científico lo primero que hace como resultado de su observación es formular una hipótesis *explicativa* del comportamiento de los gases: trata a esos cuerpos como si fueran partículas puntuales y elásticas que se comportan como tales (con su posición, energía, masa, cantidad de movimiento, etc); es decir, define lo que hemos llamado un *sistema teórico*. Pero, una vez comprobada y aceptada esta

hipótesis, el sistema así definido pasa a *describir* aquel comportamiento y la hipótesis inicial se hace tanto más descriptiva cuanto con más éxito se consigue desarrollar, pudiendo dar lugar a enunciados *legales*, como es, por ejemplo, la ley de Boyle. Incluso es posible llegar a cambiar el nivel de explicación y pasar de aquella explicación *heterogénea* a otra *homogénea*, en la que se formula que gases perfectos son los que cumplen con una determinada ley ($pV=KT$), desapareciendo toda explicación causal con lo cual la teoría pasa a ser meramente descriptiva.

En la ya referida aplicación de la Teoría de la Elaboración que hace Reigeluth a los contenidos de Óptica, a pesar del cuidado puesto en seguir una vía de instrucción que vaya de lo concreto a lo abstracto, los principios físicos que se exponen son en muchos casos descriptivos (v.g., en las “lecciones” 2 y 3 se describen los principios de la reflexión, refracción e interferencias; op. c.; p. 263) y no hay ningún planteamiento del hecho causal que los explica (aunque sí se muestran analogías basadas en el comportamiento que tienen unas pelotas con movimiento rectilíneo).

Para que se dé tal explicación causal específica es necesario esbozar, al menos, el sistema teórico correspondiente al fenómeno estudiado. Y es en este punto del análisis en donde entramos en el otro aspecto epistemológico anunciado al principio de esta exposición y que pasaremos inmediatamente a considerar.

Parece —y así es como procede Reigeluth en el ejemplo de aplicación que sirve de base a nuestra crítica— que la estructura más apropiada para la secuencia elaborativa en la generalidad de los temas de Física es aquella que toma como *contenido organizador* los principios. Pero comenzar, en los mismos inicios de la secuencia de instrucción, con la enseñanza de los principios hace correr el peligro de caer en un exceso de inductivismo al transmitir la idea de que estas leyes físicas son una consecuencia inevitable de los hechos observados.

Actualmente, la mayor parte de los epistemólogos (Popper, 1991; Kuhn, 1971; Bunge, 1978) rechazan aquella concepción positivista de la ciencia e insisten en el carácter hipotético-deductivo del razonamiento científico. Este punto de vista se traduce cara a la enseñanza en la necesidad de elaborar, desde los comienzos de la instrucción de un tema (desde el epítome), cuál es el *objeto modelo* y cuál es el *sistema teórico* con los que se van a trabajar, los cuales están ya contemplados de antemano por la propia teoría y no son fruto directo de los hechos observados. Esta “desintetización” del modelo teórico (Johsua, 1986) implica que al alumno hay que enseñarle a aceptar que los estados y los conceptos se definen convencionalmente —dentro del marco teórico utilizado— para lograr una explicación coherente de los fenómenos físicos y que él debe participar en tal definición.

Por todo ello, la estrategia didáctica que sugerimos consiste en que, una vez obtenido la representación jerarquizada de los fenómenos que constituyen los contenidos básicos del epítome, el profesor debe tratar de explicitar una *Explicación Causal Básica* (ECB) que subyace a los diferentes fenómenos, para poder orientar posteriormente a los alumnos hacia la inducción de un hipotético nexo causal que pueda abstraerse de las invariantes perceptivas a partir de la observación de los mismos.

Este momento es también el más adecuado para que el profesor seleccione y organice las leyes físicas que se relacionan con la ECB, como *contenidos de planteamiento* que se van a presentar a los alumnos al final del epítome de forma todavía hipotética (sin entrar en precisiones conceptuales ni en su formulación matemática). En síntesis, las principales tareas a trabajar para el análisis inicial de los fenómenos planteados son tres:

1. Descripción de detalles observados
2. Discusión de hipótesis sobre la ECB
3. Planteamiento inicial de leyes físicas (a partir de los “contenidos de planteamiento”)

Teniendo como punto de referencia los contenidos de planteamiento (que en nuestro caso hemos diseñado a modo de preguntas que el profesor debe inducir a lo largo del epítome), las actividades para el desarrollo de estas tareas de análisis de fenómenos consisten en experiencias de laboratorio y demostraciones realizadas por el profesor o mediante materiales audiovisuales, con un fuerte componente de aprendizaje por descubrimiento, que guían al alumno hacia la elaboración de hipótesis sobre la ECB (que en fases posteriores se concretarán en leyes físicas).

En este marco preparatorio, en ocasiones también de tipo cooperativo, el alumno puede desarrollar con más facilidad los procesos cognitivos de percepción y análisis que van, al mismo tiempo, a constituir la base fundamental para el “anclaje” de los aprendizajes posteriores. Además, el profesor puede flexiblemente introducir en cualquier momento otras tareas que estimulen en el alumno los procesos de aprendizaje significativo y el desarrollo de estrategias de pensamiento (comparación, conceptualización, transferencia, síntesis...), cuando la situación concreta lo demande. Sugerimos que se planifiquen tareas que faciliten, al mismo tiempo, una estrecha interacción profesor-alumno mediante:

- La comparación con otras experiencias análogas.
- La introducción de ciertos conceptos de apoyo, extraídos previamente del mapa de conceptos (y tratados sin profundidad ni excesivo rigor en cuanto a la terminología, como “pre-conceptos” que se retomarán posteriormente en los diferentes niveles de elaboración).

- El apunte, incluso, en ciertos momentos, de un débil “esbozo” del sistema teórico en el que se incardinan esos conceptos.
- La recapitulación personal y activa del alumno, al final del epítome, de todos los elementos tratados, mediante, por ejemplo, la confección por grupos de un mapa conceptual.

Como hemos insistido, la dificultad en la práctica educativa se centra en la estructuración de los contenidos de lo más *general* e inclusivo a lo más *específico* y detallado (como proponía Ausubel), al mismo tiempo que de lo más *básico* a lo más *complejo* (como proponía Gagnè). La consideración de los fenómenos como *contenido organizador* nos permitía operativizar la solución a esta aparente paradoja. La primera vía (de lo más general a lo más específico) está salvaguardada por el *mapa de fenómenos* que el profesor debía construir para jerarquizar los fenómenos físicos, relativos a los contenidos a enseñar en el epítome inicial y en los diferentes niveles de elaboración. Con respecto a la segunda, la dificultad inicial de la teoría estribaba en conjugar un índice alto de generalidad y amplitud con la facilitación de aprendizajes inicialmente poco complejos. En el anterior capítulo, apuntábamos como orientación general para el profesor reservar el epítome inicial y el primer nivel de elaboración para que el alumno realice observaciones y descripciones concretas de los fenómenos planteados, elaborando relaciones causales que expliquen los *cambios* en los hechos a observar. En las últimas actividades del primer nivel y especialmente en los siguientes, de forma progresiva, debemos facilitar que el alumno se plantee relaciones ya estrictamente “legales” que permiten analizar los fenómenos como *estados* de interacción no simplemente causal, y susceptibles de formularse matemáticamente, pasan así progresivamente desde niveles de elaboración causales a otros que incluyen elaboraciones fundamentalmente legales.

Esta orientación, no es suficiente, por supuesto, para delimitar con precisión hasta dónde llega cada nivel. En esta toma de decisiones que debe hacer el profesor intervienen otros condicionantes, no sólo relativos al contenido científico y al nivel del grupo de alumnos, sino también curriculares. De todas formas, el problema de muchos profesores de física se centra en la enorme dificultad de considerar otros criterios que no sean los estrictamente científicos, olvidando que en muchas ocasiones la calidad docente no viene determinada tanto por lo que se enseña como por lo que se ha decidido “no enseñar todavía”.

En cualquier caso, esta orientación didáctica permite, a nuestro parecer, completar una importante laguna a la hora de aplicar la Teoría de la Elaboración en las didácticas específicas. Con esta conclusión, además de proponer una especificación clave para adaptar la Teoría de la Elaboración a los contenidos de la Física, pretendemos contribuir a aclarar una de las cuestiones más ambiguas

que la teoría inicial deja en suspenso, en su afán de aumentar su nivel de comprensividad respecto a modelos anteriores. En el marco de la Didáctica de la Ciencia, nos parece no obstante necesario completar este tipo de estudios con otros trabajos dirigidos también a su contrastación empírica en contexto de la praxis del aula, como el que recogemos en el capítulo 7.

CAPÍTULO 4

RELEVANCIA DE LAS TEORÍAS IMPLÍCITAS EN LA SECUENCIA ELABORATIVA

1. LAS TEORÍAS IMPLÍCITAS EN LA FÍSICA

Una teoría, dicho de una forma simple, es una descripción que muestra algunos aspectos de la realidad. Pero sobre una misma realidad pueden darse distintas descripciones, aspecto que es obvio para cualquier científico, conocedor de que en la misma ciencia oficial se da el caso de la coexistencia de teorías que presentan diferentes visiones de los mismos hechos físicos. Así, en Física, se discutió durante algún tiempo si el electrón era una partícula o una onda. La idea de partícula o de onda describe aspectos complementarios de una misma realidad, la cual no es estrictamente ni una cosa ni la otra, sino un constructo definido en el contexto experimental impuesto por la teoría utilizada.

Todos elaboramos teorías de cuanto nos rodea, entre ello de los fenómenos físicos de nuestro ámbito de experiencia. La construcción de estas teorías responde a necesidades funcionales de organización de nuestro mundo. Un niño de 2 años *sabe* que si balancea su cuerpo en un balcón puede caer. Su teoría física le permite hacer esta predicción. Por lo tanto, la *necesidad* de elaborar predicciones correctas se apunta como una característica esencial de este tipo de interpretaciones; necesidad que está apoyada en una preferencia por las explicaciones causales (Pozo et al., 1992).

La razón por la cual en las teorías espontáneas se da una preferencia por lo causal es de índole psicológica. Por una parte—como acabamos de ver— es necesario, bajo un punto de vista existencial, *predecir* acontecimientos; la supervivencia depende de ello (sobre todo en el ámbito de los fenómenos mecánicos). Por otra, existe una necesidad de *controlar*, en lo posible, esos acontecimientos; y para mejor ejercer tal control es necesario poder *explicar*, es decir, conocer las causas de esos acontecimientos y así tener la posibilidad de influir en ellos según nuestras conveniencias. Lo causal encierra, por tanto, dos aspectos: la predicción y el control.

En consecuencia, la explicación causal de los hechos es tan relevante para nuestro funcionamiento cognitivo que cabe esperar que las personas dispongamos de procedimientos eficaces y poco costosos para obtener información causal sobre el mundo. Las cosas no poseen significados en sí mismas, únicamente existen significados contruidos personalmente, idiosincrásicos, que, en consecuencia, condicionarán fuertemente el posterior aprendizaje a través de la instrucción. En el caso concreto de la enseñanza / aprendizaje de la Física, la trascendencia de estas teorías personales está actualmente constatada. En palabras de Ignacio Pozo (1992), «una de las ideas centrales de la investigación reciente sobre el aprendizaje en contextos educativos e instruccionales es sin duda la importancia de los conocimientos

previos de la persona que aprende y su influencia tanto sobre los resultados del aprendizaje como de los procesos de instrucción mediante los que éste debe ser promovido».

La literatura científica actual en este campo es numerosísima y difícil de resumir. Sin embargo, en lo que respecta al análisis de las concepciones espontáneas propiamente dichas y siguiendo a Pozo et al. (Pozo, Pérez, Sanz y Limón, 1992), podemos resumir este amplio panorama en la existencia de tres tendencias, cuyas diferencias básicas son las que a continuación se exponen:

- La de aquellos que consideran las ideas espontáneas como ideas aisladas, sin coherencia al pasar de unos ámbitos a otros (Driver, Guesne, Tiberghien, 1989).
- La de aquellos que admiten el modelo piagetiano como marco general de explicación (Shayer y Adey, 1984).
- La vía intermedia: ni totalmente coherente ni tampoco como si fueran “Reinos de Taifa”. Es decir, los que admiten que estas concepciones se agrupan formando “teorías implícitas” con un cierto grado de coherencia (Claxton, 1987; Pozo, 1989). Tendencia que a nosotros nos parece también la más plausible.

En principio, el problema se plantea desde el punto de vista común de la producción de cualquier conocimiento científico, porque la construcción de una teoría científica espontánea (“preconcepción”, en el sentido amplio del término) es un proceso cognitivo análogo a la construcción de cualquier teoría de la ciencia oficial.

Es reconocido por todos los autores que el pensamiento “formal” (la etapa más avanzada del desarrollo psicoevolutivo de los individuos) es necesario para la comprensión de las teorías físicas. En palabras de Delval: «el pensamiento formal amplía enormemente las capacidades del chico ya que no sólo es capaz de razonar sobre lo real, sobre lo que conoce o tiene presente, sino que puede hacerlo también sobre lo posible [...]. Todas estas capacidades nuevas son las que van a permitir al adolescente entender el pensamiento científico y razonar sobre problemas complejos. Antes, la aproximación a la ciencia no puede ser completa sino sólo preparatoria.» (Delval, 1986; p. 185).

Otro aspecto fundamental a tener presente en la génesis del conocimiento científico es la intervención de la causalidad. Paralelamente a la formación del pensamiento “formal”, construyen los individuos el razonamiento causal, esencial en la descripción de los fenómenos físicos. La escuela ginebrina de Piaget da cuenta asimismo—dentro de las ideas racionalistas—de la formación de la causalidad en coherencia con las distintas formas de explicaciones que la física utiliza.

Dentro de una visión constructivista de la enseñanza / aprendizaje de la Física, las ideas previas (sean construcciones intuitivas o conceptos aprendidos a través de la instrucción) son el punto de partida en el que ha de basarse la instrucción (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978). Sobre todo en el caso de las teorías implícitas esta influencia es importante por dos razones añadidas: primera, por la conocida persistencia de dichas ideas y su resistencia al cambio conceptual, y, segunda, porque el paralelismo entre la génesis del conocimiento espontáneo y el científico puede favorecer la construcción de este último.

2. LA INTERFERENCIA DE LAS TEORÍAS IMPLÍCITAS EN LA EXPLICACIÓN CAUSAL BÁSICA.

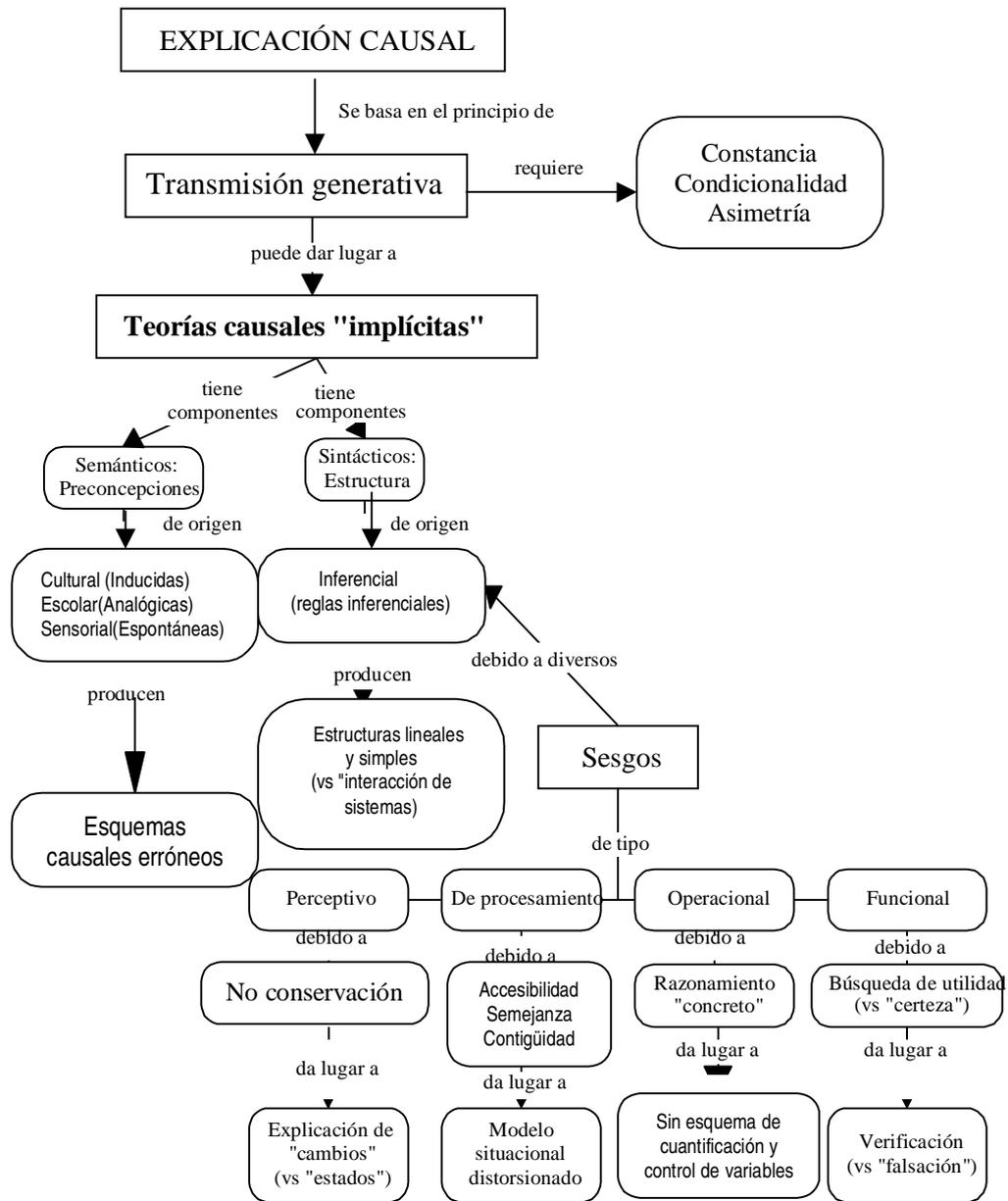
Una de las carencias más evidentes e importantes de la Teoría de la Elaboración es no tomar en cuenta la existencia de teorías espontáneas para el diseño de secuencias de instrucción. Quizá en otros ámbitos del conocimiento, la influencia de las teorías espontáneas que pudieran tener los sujetos es insignificante. No ocurre así en la enseñanza de la Física. Reigeluth y Stein no tienen en cuenta las importantes interferencias que las teorías implícitas producen en el proceso de aprendizaje (los *prerrequisitos* de los que se habla en la Teoría de la Elaboración no tienen nada que ver con las ideas espontáneas que estamos mencionando, sino con las estrategias de comprensión necesarias para acceder a la estructura interna de los contenidos). Lo cual nos conduce al replanteamiento, una vez más, de los fenómenos físicos como requisito inicial para la elaboración de una secuencia de instrucción en la enseñanza de la Física, así como a la consideración de los *sesgos inferenciales* que intervienen en la observación y análisis inicial de los mismos, y más específicamente, en la elaboración de la Explicación Causal Básica.

Este es, desde nuestro punto de vista, el enclave estratégico de la secuencia elaborativa donde las teorías implícitas ejercen una interferencia más dañina. Retomando las reflexiones epistemológicas y cognitivas que realizábamos al principio del tercer capítulo, debemos considerar al menos dos ámbitos que distinguen la construcción de las teorías científicas de las espontáneas: el componente semántico y sintáctico de la teoría causal y las reglas de inferencia que utiliza.

Si admitimos, como hemos comprobado en la Dinámica (Montanero, Pérez y Suero, 1995), que las preconcepciones espontáneas de los alumnos de Física conforman auténticas “mini-teorías” causales, debemos reconocer igualmente en ellas un doble componente semántico y sintáctico. El primero hace referencia a los pseudo conceptos, o “categorías ad hoc” de carácter difuso e implícito, que los alumnos generan a partir de diferentes influencias procedentes de la actividad espontánea, los sesgos inferenciales del sujeto e incluso la instrucción

formal. Por su parte, el componente sintáctico se debe a la estructura causal inherente a dichos pseudo conceptos y que permite relacionar los elementos observados en un fenómeno. Estas relaciones pueden conformarse en torno a un sustrato estructural común en función de las variables incluidas y la dirección del nexo causal entre las mismas. Por lo general, se observa una cierta esclerotización en estructuras de tipo lineal y simple, donde el fenómeno se explica en virtud de una única causa que genera el cambio en la realidad física observada. Por el contrario, gran parte de las teorías científicas se fundamentan en un análisis de la realidad como “estado” definido por la interacción de sistemas. Es decir, en estructuras de carácter múltiple, que mantienen una relación recíproca o cíclica entre las variables implicadas (que puede expresarse matemáticamente en una ley).

Los mismos mecanismos inferenciales que actúan en la formación y persistencia de las teorías implícitas constituyen lógicamente el mayor obstáculo para la inducción de la ECB, a partir del análisis inicial de los fenómenos planteados en el epítome. Como se esquematiza en la siguiente figura, podríamos distinguir cuatro tipos de sesgos, íntimamente ligados entre sí, que contaminan las anteriores reglas de inferencia imprescindibles en el razonamiento científico. En cuanto a su origen, podríamos decir que los tres primeros están fuertemente condicionados (aunque no únicamente) por dificultades *cognitivas* para el empleo de un razonamiento lógico formal; mientras que el último se fundamenta en hábitos funcionales que impregnan gran parte de nuestras inferencias espontáneas en contextos pragmáticos.



El primer sesgo, que hemos llamado “perceptivo”, alude a la dificultad de muchos alumnos para reconocer algo que se conserva, además de lo que se transforma en el fenómeno físico observado. De ahí la incapacidad de muchos alumnos de percibir en realidad los cambios como una sucesión de estados que se conservan y reequilibran constantemente. Este es el principal obstáculo para la comprensión de las relaciones “legales” que, como ya hemos argumentado extensamente, sustentan muchos principios y teorías científicas.

La teoría cognitiva del esquema no parece suficientemente potente para explicar el origen cognitivo de este y los siguientes sesgos que afectan a las explicaciones de los alumnos. La teoría de los "modelos mentales" (Holland,1982; Johnson-Laird, 1983) supone una interesante alternativa al enfoque de corte estructural y semántico de los esquemas. Efectivamente, el esquema como unidad fundamental de representación de carácter semántica, es un constructo muy limitado a la hora de estudiar como se elaboran teorías implícitas con un claro componente episódico. Los modelos, por el contrario, son representaciones mentales de carácter perceptivo-analógico, muy próximas a la imagen mental, pero no sólo definidas por parámetros icónicos y espacio-temporales, sino también causales, motivacionales y socio-afectivos.

Los esquemas son estructuras de conocimiento genéricas, hasta cierto punto arbitrarias, puesto que no mantienen ninguna similitud con la realidad que representan. Desde la teoría de los modelos, al menos una parte importante de nuestras representaciones "mimetizan" en cierto grado la estructura espacio-temporal y causal de los objetos y sucesos que percibimos, y además lo hace de forma dinámica y global. El dinamismo de estos modelos mentales de la realidad no consiste en un mero ensamblaje de esquema preexistentes, sino en la realización de inferencias que derivan y a la vez actualizan la comprensión situacional de un determinado fenómeno, mediante la imaginación de todo un "mundo" que explica los cambios observados en el mismo.

Este carácter esencialmente molar no significa que la teoría del modelo mental no se sustente también sobre componentes estructurales más simples. Para Johnson-Laird (1983), los modelos se construyen combinando un número limitado de campos semánticos "primitivos" (forma, color, movimiento, emoción, intención...) y unos operadores (tiempo-espacio, permisibilidad-posibilidad y causación-intención) que permiten construir, mediante un mecanismo "probabilístico", conceptos "ejemplares" (de los que se nutren dinámicamente esas configuraciones situacionales o modelos).

Al contrario de lo prescrito por la teoría de los esquemas, la comprensión no podría reducirse pues a la activación de un trazo semántico ya existente en la memoria, y en el que los mecanismos de inferencia se explican por el "relleno" de los "slots" (o valores ausentes en el esquema) con información no explícita en el texto superficial. La construcción de un modelo mental supone una experiencia de comprensión que se fundamenta en la elaboración personal, espontánea, de una representación episódica, hasta cierto punto "inedito". Las inferencias no se derivan necesariamente de esquemas activados de la observación de la realidad, sino de expectativas sobre elementos y vínculos causales que explican los cambios en el fenómenos físico reconstruidos mentalmente.

En este sentido, el sesgo “de procesamiento” se debería al sobredimensionamiento o distorsión, respecto al modelo físico subyacente en la teoría científica, de esos factores perceptivos y espacio-temporales que influyen en la representación episódica del fenómeno. El proceso de esquematización semántica que la instrucción debe posteriormente está en consecuencia amenazada por errores en la inferencia causal influidos por:

- La accesibilidad: se utiliza como causa más probable aquella que es más accesible a nuestra memoria, en función de su “recencia”, “frecuencia” o “saliencia” (Pozo y col., 1992).
- La contigüidad: apreciar una relación causal entre dos fenómenos continuos en el tiempo.
- La semejanza: la causa más posible es aquella más semejante a los efectos observados. Creer que hay semejanza entre los hechos y los modelos que los explican facilita el establecimiento de relaciones causales simples y lineales (Driver, Guesne y Tiberghien, 1989). De aquí que las situaciones de interacción en ambos sentidos (por ejemplo, los casos de aplicación del principio de acción y reacción) sólo se aprecian con facilidad en uno de ellos. Por otro lado, apreciar una semejanza cuantitativa entre causa y efecto provoca una tendencia a ver proporcionalidades directas en las relaciones cuantitativas (lamentablemente, el abuso de la conocida “regla de tres” en ciertas áreas de la enseñanza de las Ciencias consolida este sesgo).

De todas formas, el enfoque del modelo mental no es necesariamente incompatible con las teorías que se fundamentan en el esquema como unidad básica de nuestra arquitectura cognitiva: "puede ser que los modelos mentales se elaboren, al menos parcialmente, a partir de contenidos esquemáticos; y así mismo, es posible que los esquemas se abstraigan o sinteticen a partir de trazos procedentes de experiencias individuales o de modelos mentales" (De Vega, 1990, p. 122).

De hecho, todas las anteriores contaminaciones inferenciales están también condicionados por los esquemas de razonamiento que activa el sujeto en la explicación causal. La comprensión de las teorías científicas requiere la utilización flexible de esquemas de cuantificación (proporcionalidad, correlación, probabilidad...) y de control de variables, descritos por Piaget en el estadio de las operaciones formales. El sesgo “operacional” actuaría, por tanto, en un último momento, durante el proceso de reelaboración y ampliación de la ECB.

Para terminar, el sesgo “predictivo” no se debe tanto a una exigencia de tipo cognitivo como, sobre todo, funcional. De lo dicho anteriormente, no debería deducirse que las teorías implícitas responden a una construcción caprichosa de

mentes limitadas. Ante todo, sirven para la supervivencia cotidiana, 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.

Todos estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar los contenidos de planteamiento de la ECB. Desde nuestro punto de vista, en primer lugar deben servir para asegurar el desarrollo de “conflictos empíricos” durante la observación de los fenómenos del epítome, que sirvan para conformar o reestructurar un modelo mental más adecuado para sustentar la ECB.

En segundo lugar el profesor debe diseñar actividades que faciliten al individuo el control de variables en análisis del fenómeno, la utilización de la falsación y los diferentes esquemas de cuantificación que permiten el planteamiento inicial de leyes. 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.

Por último, la interacción profesor-alumno y alumno-alumno debe propiciar la toma de conciencia del conflicto entre la teoría causal (hasta ahora “implícita”) y las nuevas explicaciones causales de los fenómenos.

3. EVALUACIÓN DE TEORÍAS IMPLÍCITAS Y CAMBIO CONCEPTUAL. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS.

El profesor cuenta con diferentes técnicas de evaluación para evaluar la existencia y configuración de las teorías espontáneas, aunque no todas son igual de eficaces para su utilización en el aula, por su complejidad y el tiempo que precisa su ejecución. En trabajos anteriores nos hemos ocupado de analizar la utilidad de algunas de ellas en varias ramas de la Física, especialmente *los mapas conceptuales* (Suero y otros, 1989) y los *cuestionarios* (Calvo y otros, 1992; Montanero, 1994). Un ejemplo de la utilización de esta última puede consultarse en la unidad didáctica del capítulo sexto. El cuestionario tiene la ventaja de que permite un análisis cuantitativo de gran interés a partir de las respuestas. Se trata de preguntas cerradas de elección múltiple, en las que se da a los alumnos un enunciado o una representación gráfica o simbólica y se les pide que elijan entre varias respuestas prefijadas.

De todas formas, también pueden utilizarse otros instrumentos de carácter mucho más asistemático, como los *coloquios*, que se pueden realizar con toda la clase o en pequeño grupo (siendo importante el papel del profesor como animador de los alumnos a opinar). El torbellino de ideas. Es una técnica efectiva al comenzar un tema, con la ventaja de que permite saber un gran número de ideas en muy poco tiempo. Por último, el profesor puede plantear la elaboración de dibujos que muestren la representación interna del fenómeno por parte del alumno.

Así pues, en un mismo alumno pueden coexistir dos tipos distintos de conocimiento sobre un mismo fenómeno: el académico (más formal y científico) y el personal (informal, implícito pero bastante predictivo). Entender el aprendizaje como un proceso de cambio conceptual supone confrontar, explícita y deliberadamente, ambos tipos de conocimiento a través de técnicas y recursos didácticos. Se trataría de partir de los conocimientos de los alumnos para modificarlos mediante la presentación y el análisis de un conocimiento científico más elaborado y ello sólo será posible si ese conocimiento científico se presenta de modo que haga referencia al mundo cotidiano del alumno, que es donde se han originado sus conocimientos previos. Así, el “cambio conceptual” no debe entenderse como un proceso de sustitución de unos conocimientos por otros, sino, más bien, como un proceso de evolución—que no es instantáneo sino que requiere tiempo—de las ideas de los alumnos, que debe apoyarse también en una restricción en el uso de las reglas de inferencia cotidiana en

contextos científicos, además de un cambio estructural que haga posible el uso de esquemas causales y explicativos más complejos.

Toda esta transformación o “cambio conceptual” requiere, sobre todo, la facilitación de “conflictos cognitivos” a lo largo del proceso de instrucción. Conseguimos provocar un conflicto cognitivo en el momento en el que alumno comprueba que su teoría previa lleva a predicciones que no se cumplen. Ahora bien, la condición más importante para que este conflicto genere un auténtico cambio conceptual es que, al mismo tiempo, el alumno tome conciencia de sus anteriores ideas y reflexione sobre los fenómenos en que están implicados cada una de ellas. Por eso, la verdadera responsabilidad de la evaluación procesual del profesor se centra en averiguar si el alumno ha llegado a esa toma de conciencia y, en caso contrario, qué ayuda requiere para mejorar su *capacidad de reflexión* en dos importantes momentos (Pozo, 1989):

- Al producirse un conflicto “factual” entre las ideas previas y los datos observables a partir de un fenómeno físico o social.
- Al producirse posteriormente un conflicto “conceptual” entre los conceptos o teorías previas que supuestamente explicaban aquellos fenómenos y los conceptos y teorías alternativas que pretendemos que aprendan.

Sólo mediante la evaluación de estos dos momentos del proceso de cambio conceptual el profesor se encontrará en disposición de poder plantear nuevos conflictos susceptibles de “perturbar” la estructura cognitiva de cada alumno, y de mediar las inferencias que realizan hasta “reestructura” su teoría.

Por su parte, Posner y col. (1982), subrayan cuatro efectos psicológicos que debemos provocar en el alumno a lo largo de la instrucción para promover el cambio conceptual:

- Insatisfacción por parte del alumno respecto a las concepciones existentes.
- Explicitación por parte del alumno de sus ideas.
- Una alternativa inteligible que permita una nueva del conocimiento.
- Una alternativa que encaje con otros conocimientos del alumno.
- En el caso de que la idea alternativa y la nueva no sean irreconciliables (Hewson, 1989) propone ampliar el modelo de cambio conceptual a dos estrategias más: el intercambio y la integración, es decir, la ampliación y la diferenciación de las ideas previas, conectando ambas o incluyendo la primera en la segunda.

En síntesis, y en conexión con lo expuesto en los capítulos anteriores, afrontar la influencia de las teorías espontáneas en la instrucción requiere tener en cuenta las siguientes orientaciones didácticas para el diseño de la secuencia elaborativa:

- Facilitar la percepción selectiva de los rasgos esenciales que se dan en los fenómenos físicos, así como la formación de modelos mentales, adaptados a las posibilidades de comprensión del alumno, que permitan representar dinámicamente los invariantes perceptivos sobre los que se fundamentará la explicación causal básica.
- Promover, jerarquizar y potenciar el conocimiento experiencial (base de datos experienciales) que vayan a dar significado al conocimiento científico.
- Ofrecer un mínimo “contexto de descubrimiento”, que motive al alumno, mediante el planteamiento de cuestiones que más adelante deberán ser resueltas a través de los objetivos y actividades de la secuencia elaborativa.
- Jerarquizar la construcción del conocimiento científico, acomodándose a los hechos desde la definición de cada uno de los elementos del modelo teórico, pasando por la distintas fases de la formación de los conceptos, hasta llegar al establecimiento de los principios causales y los legales (estos últimos, si los hubiera) de la teoría física que se está estudiando.
- Tener en cuenta la influencia de las teorías implícitas en la construcción de las teorías oficiales y facilitar en lo posible el *cambio conceptual* de unas a otras.
- No transmitir la idea de que la existencia de estas preconcepciones es cuestión de una mayor o menor “inteligencia”, ni, por supuesto, ridiculizarlas.

Debemos insistir en que la intervención específica sobre las teorías implícitas es, además de cognitivamente necesaria, una de las opciones más motivadoras para los alumnos. El compromiso que toda persona tiene con sus propios esquemas de conocimiento operativos le implica rápidamente en una experiencia para ella sugestiva y le permite un acercamiento a los contenidos del tema que se está tratando.

Si utilizamos actividades de “lápiz y papel” (véase la ejemplificación de este tipo de actividad en la Unidad Didáctica del capítulo 6) tenemos dos opciones para desarrollar en el aula: trabajo individual de los alumnos que culmina en una puesta en común de todo el grupo, o bien, trabajos en pequeños grupos (de 4 alumnos, por ejemplo). Cada grupo discute (se debe dar gran importancia al

debate dentro del grupo) y acuerda la respuesta (se debe terminar también en una puesta en común del gran grupo).

El profesor debe valorar si es conveniente desvelar todas o algunas de las respuestas correctas o, por el contrario, es más útil, didácticamente, dejar la solución verdadera para ir dándola a lo largo del desarrollo posterior de los contenidos de la UD (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.