



# Enfoques para la enseñanza de la ciencia

J. I. Pozo

Pozo, J. I. (1997) **Teorías cognitivas del aprendizaje**, Cap. 8; Enfoques para la enseñanza de la ciencia. Ed. Morata. Madrid. Pp 265-308.

## CAPÍTULO VIII

### Enfoques para la enseñanza de la ciencia

---

*Estuve en la escuela de matemáticas, donde el maestro enseñaba a los discípulos por un método que nunca hubiéramos imaginado en Europa. Se escribían la proposición y la demostración en una oblea delgada, con tinta compuesta de un colorante cefálico. El estudiante tenía que tragarse esto en ayunas y no tomar durante los tres días siguientes más que pan y agua. Cuando se digería la oblea, el colorante subía al cerebro llevando la proposición. Pero el éxito no ha respondido aún a lo que se esperaba; en parte, por algún error en la composición o en la dosis, y en parte por la perversidad de los muchachos a quienes resultan de tal modo nauseabundas aquellas bolitas, que generalmente las disimulan en la boca y las disparan a lo alto antes de que puedan operar. Y tampoco ha podido persuadirseles hasta ahora de que practiquen la larga abstinencia que requiere la prescripción.*

Jonathan SWIFT, *Los viajes de Gulliver*

Como hemos ido viendo en los capítulos anteriores, lograr que los alumnos aprendan ciencia, y lo hagan de un modo significativo y relevante, requiere superar no pocas dificultades. A partir de los análisis que acabamos de presentar, aplicados al aprendizaje de la química (Capítulo VI) y de la física (Capítulo VII), cabe afirmar que la adquisición del conocimiento científico requiere un cambio profundo de las estructuras conceptuales y las estrategias habitualmente utilizadas en la vida cotidiana, y que ese cambio, lejos de ser lineal y automático, debe ser el producto laborioso de un largo proceso de instrucción. En otras palabras, parece que la adquisición del conocimiento científico, lejos de ser un producto espontáneo y natural de nuestra interacción con el mundo de los objetos, es una laboriosa construcción social, o mejor aún re-construcción, que sólo podrá alcanzarse mediante una enseñanza eficaz que sepa afrontar las dificultades que ese aprendizaje plantea. Para ello, en este último capítulo vamos a retornar las relaciones entre aprendizaje y enseñanza con las que abrimos el libro. Si en el Capítulo Primero señalábamos la necesidad de diferenciar entre el currículo que enseñan los profesores y el que aprenden los alumnos, en estas páginas finales intentaremos reconciliar los procesos de

enseñanza y aprendizaje. O, dicho en otras palabras, se trata de analizar qué estrategias y enfoques de enseñanza hacen más probable el aprendizaje de la ciencia, tal como lo hemos definido en capítulos anteriores. Frente al habitual divorcio entre lo que los profesores enseñan -mucho, complejo y muy elaborado- y lo que los alumnos aprenden -no tanto, bastante simplificado y poco elaborado- se trata de identificar estrategias que aproximen lo que profesores y alumnos hacen en el aula.

Partiendo del concepto vygotskiano de *zona de desarrollo próximo*, asumimos que la labor de la educación científica es lograr que los alumnos construyan en las aulas actitudes, procedimientos y conceptos que por sí mismos no lograrían elaborar en contextos cotidianos y que, siempre que esos conocimientos sean funcionales, los transfieran a nuevos contextos y situaciones. De esta forma, el currículo de ciencias, desarrollado a través de las actividades de aprendizaje y enseñanza, debe servir como una auténtica *ayuda pedagógica*, una vía para que el alumno acceda a formas de conocimiento que por sí mismas le serían ajenas o al menos muy distantes. Esta reducción de la distancia entre la mente del alumno y el discurso científico -o si se prefiere, retornando los análisis presentados en el Capítulo V, entre el conocimiento cotidiano y el científico- requiere adoptar estrategias didácticas específicas dirigidas a esa meta. El objetivo de este capítulo es reflexionar sobre los diversos enfoques que se han propuesto y desarrollado en los últimos años en la enseñanza de la ciencia para el logro de ese objetivo. No es nuestro propósito hacer una presentación detallada de esas diversas propuestas de enseñanza, ni tan siquiera revisar nuevas propuestas para la renovación del currículo de ciencias, sino más bien reflexionar sobre el modelo de educación científica que conllevan, las metas a las que están dirigidas y el grado en que pueden ayudar a superar algunas de las dificultades esenciales del aprendizaje de la ciencia. No se trata por tanto de presentar un modelo único, terminado, de educación científica sino, en sintonía con la propia concepción que hemos venido defendiendo, de contrastar diversas alternativas o perspectivas, cada una de las cuales responde a una concepción y a un enfoque concreto de la educación científica. Aunque obviamente algunos de estos enfoques se hallan más próximos a la posición defendida en estas páginas, nuestra idea es que no existen “buenas” o “malas” formas de enseñar, sino adecuadas o no a unas metas y a unas condiciones dadas, por lo que debe ser cada profesor -o cada lector- quién asuma la responsabilidad del enfoque educativo que más se adecue a su concepción del aprendizaje de la ciencia.

De esta forma, en las próximas páginas analizaremos las implicaciones educativas de diversos enfoques o tradiciones para la enseñanza de la ciencia, que han respondido no sólo a formatos educativos asentados en nuestra cultura del aprendizaje (Pozo, 1996a), sino también a intentos de renovación de esa cultura basados en la investigación reciente. Tomaremos como eje de nuestra exposición la propia evolución de esos enfoques en los últimos treinta años de investigación e innovación de la enseñanza de la ciencia, desde las concepciones más tradicionales, cercanas a la llamada pedagogía por objetivos, hasta las propuestas más recientes de enseñanza a través de la investigación o de instrucción mediante modelos, pasando por la enseñanza por descubrimiento, la enseñanza expositiva ausubeliana o los modelos de cambio conceptual. Para

no perder el norte en este breve viaje, analizaremos cada una de estas propuestas desde un esquema de preguntas que puede hacerse a todo currículo de ciencias (Pozo y GÓMEZ CRESPO, 1996) que en este caso atenderá fundamentalmente a:

- I) los supuestos epistemológicos y la concepción de aprendizaje subyacente al enfoque y las metas que éste se propone,
- II) los criterios de selección y organización de los contenidos,
- III) las actividades de enseñanza y evaluación en que se basa, para concluir analizando
- IV) las dificultades más previsibles que, a partir los análisis desarrollados en capítulos anteriores, se derivan de la aplicación de ese enfoque tanto para los profesores como para los alumnos.

Es importante comprender no sólo las implicaciones últimas de cada propuesta curricular, en la medida en que se apoye en uno u otro enfoque de la enseñanza de la ciencia sino, por encima de ellas, la necesidad de que los distintos agentes educativos -los profesores, los alumnos, la administración educativa, los investigadores, etc.- compartan o al menos negocien una misma concepción educativa. Con frecuencia profesores y alumnos -por citar sólo los agentes diariamente más próximos entre sí- tienen metas y concepciones distintas de lo que deben hacer en el aula, que no llegan nunca a explicitarse. Un profesor que cree estar enseñando a sus alumnos a representar gráficamente las diferentes elongaciones de un muelle en *función* de la masa que se le cuelga puede no saber que en realidad sus alumnos están jugando a estirar muelles y a ver cuál llega más abajo. Con mucha frecuencia las metas de los profesores -enseñar los conceptos y principios básicos de la ciencia- quedan reducidas en la mente de los estudiantes al recuerdo de ciertos hechos y sucesos chocantes o anecdóticos. Es necesario hacer partícipes a los alumnos de las metas, o si se prefiere de la *función educativa*, de la enseñanza de la ciencia. Pero, para ello, hay primero que tomar conciencia de cuáles son las metas y los supuestos, con frecuencia más implícitos que explícitos, de esa enseñanza, en sus diferentes variantes o enfoques.

Así, retornando las diferentes formas de concebir las relaciones entre el conocimiento, desarrolladas con detalle en el Capítulo V, cabe pensar que, a juzgar por los criterios de organización, secuenciación y evaluación que rigen aún muchos currículos de ciencias, muchos *profesores* aceptan, siquiera de modo implícito, la hipótesis de la compatibilidad, según la cual la meta de la educación científica es completar o llenar la mente de los alumnos, más que cambiar su organización. Esta concepción educativa, acorde con una cultura del aprendizaje tradicional, dirigida a la transmisión de conocimientos más que a su reestructuración, choca sin embargo con nuevas necesidades educativas y de formación (tal como vimos en el Capítulo Primero) que, en el campo de la enseñanza de la ciencia, han llevado en tiempos recientes a los *investigadores* e incluso a algunos *administradores* y *gestores educativos* a defender propuestas más cercanas a la hipótesis de la *incompatibilidad*, fijando como meta más o menos explícita del currículo de ciencias alcanzar el cambio conceptual. Por su parte, los *alumnos*, ajenos a tanta reflexión y proyecto curricular, siguen siendo sin embargo quienes viven más de cerca el currículo de ciencias y sus metas,

por lo que probablemente, a poco estratégicos que sean, serán partidarios de la hipótesis de la independencia, y separarán lo más posible lo que aprenden en el aula de sus conocimientos cotidianos, ya que habitualmente es tan peligroso utilizar sus conocimientos cotidianos en clase de ciencias como inútil pretender dar sentido a su vida cotidiana con lo que aprenden en clase. Así las cosas, no es extraño que el currículo de ciencias sea un auténtico diálogo de sordos en el que cada uno tiene sus propias metas, con lo cual casi nadie las alcanza, con la consiguiente frustración mutua, ya que su logro depende de los demás. Los profesores necesitan que sus alumnos se esfuercen por aprender, los alumnos precisan que sus profesores atiendan a sus necesidades educativas cada vez más especiales, los investigadores y administradores necesitan que los profesores adopten sus puntos de vista y los propios profesores necesitan que la Administración, pero también la investigación, se adecue a su realidad diaria. Si queremos superar esa frustración y esa sensación de fracaso que mencionábamos al comienzo del libro, es necesario que estemos todos en el mismo currículo, que adoptemos todos el mismo enfoque, o si eso no es posible porque aquí también hay que atender a la diversidad de puntos de vista, que al menos sepamos cuál es el enfoque que tenemos cada uno y cómo podemos hacerlos compatibles entre sí. Para ello necesitamos conocer cuáles son los principales enfoques desde los que se ha abordado la enseñanza de la ciencia.

### ***La enseñanza tradicional de la ciencia***

Aunque siempre es arriesgado, en un ámbito tan complejo como la educación científica, identificar un enfoque como "tradicional", ya que sin duda en todo momento coexisten diferentes tradiciones, podemos asumir que la forma *prototípica* de enseñar ciencia en lo que ahora es la Educación Secundaria ha tenido unos rasgos característicos, derivados tanto de la formación recibida por los profesores como de la propia cultura *educativa* de esta etapa, tan diferente de la imperante en la Educación Primaria (GIMENO SACRISTÁN, 1996). Así, la formación casi exclusivamente disciplinar del profesorado de ciencias, con muy escaso bagaje didáctico previo a la propia experiencia docente, junto con el carácter marcadamente selectivo que ha tenido tradicionalmente este período educativo, dirigido más a seleccionar para la universidad que a proporcionar una formación sustantiva, han marcado un enfoque dirigido sobre todo a la transmisión de conocimientos *verbales*, en el que la lógica de las disciplinas científicas se ha impuesto a cualquier otro criterio educativo y en que a los alumnos se les ha relegado a un papel meramente reproductivo.

En este modelo, el profesor es un mero *proveedor* de conocimientos ya elaborados, listos para el consumo (Pozo, 1996a), y el alumno, en el mejor de los casos, el *consumidor* de esos conocimientos acabados, que se presentan casi como hechos, algo dado y aceptado por todos aquellos que se han tomado la molestia de pensar sobre el tema, por lo que al alumno no le cabe otra opción que aceptar él también esos conocimientos como algo que forma parte de una realidad imperceptible, pero no por ello menos material, consolidando la indiferenciación entre hechos y modelos que caracteriza a la posición *realista* más o

menos elaborada, que según hemos visto suele ser propia del conocimiento cotidiano (véase el Capítulo IV). Aunque esta concepción educativa resulte poco sostenible, a luz de todos los recientes desarrollos sobre el aprendizaje de la ciencia presentados en capítulos precedentes, sigue siendo un modelo muy vigente en nuestras aulas, ya que muchos de sus supuestos son explícita o implícitamente asumidos por numerosos profesores de ciencias, que en su día también aprendieron la ciencia de esta manera. ¿Cuáles son esos supuestos sobre la educación científica, los criterios de organización de los contenidos, las actividades de aula y en suma las limitaciones de este enfoque para el aprendizaje de la ciencia por los alumnos?

### Supuestos y metas de la educación científica

Retornando las hipótesis desarrolladas en el Capítulo V sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento científico, diríamos que la enseñanza de la ciencia, como sucede en otras áreas, ha asumido tradicionalmente la idea de que ambas formas de conocimiento son perfectamente compatibles, de modo que la mente de los alumnos está formateada para seguir la lógica del discurso científico y que por tanto la meta de la educación científica es llenar esa mente de los productos típicos de la ciencia: sus saberes conceptuales. De hecho aquellos alumnos que no tengan la mente así formateada, que no son pocos, no pueden seguir el discurso científico e idealmente, según este enfoque, deberían ser excluidos de la educación científica, ya que al fin y al cabo ya se sabe que no todo el mundo tiene las capacidades necesarias. El conocimiento científico se asume desde esta posición como un saber absoluto, o al menos como el conocimiento más verdadero posible, el producto más acabado de la exploración humana sobre la naturaleza, y por tanto aprender ciencia requiere empaparse de ese conocimiento, reproduciéndolo de la manera más fiel posible. Esta posición, cercana a lo que hemos llamado *realismo interpretativo*, asumiría que la ciencia nos permite conocer cómo es realmente la naturaleza y el mundo y que, por tanto, aprender ciencia es saber lo que los científicos saben sobre la naturaleza. Todo lo que el alumno tiene que hacer es reproducir ese conocimiento, o si se prefiere incorporarlo a su memoria. Y la vía más directa para lograrlo será presentarle mediante una exposición lo más clara y rigurosa posible ese conocimiento que tiene que aprender. Para ello hay que seguir la ruta, la lógica, marcada por los propios saberes disciplinares tanto en la formación de los profesores, que debe basarse también en la presentación de los últimos avances científicos, como en el propio desarrollo del currículo.

### Criterios para seleccionar y organizar los contenidos

En este enfoque, el único criterio al que se acude para determinar qué contenidos son relevantes y cómo hay que organizarlos en el currículo es el conocimiento *disciplinar*, entendido como el cuerpo de conocimientos aceptado en una comunidad científica. El calor, la energía o la ionización se enseñan, no por

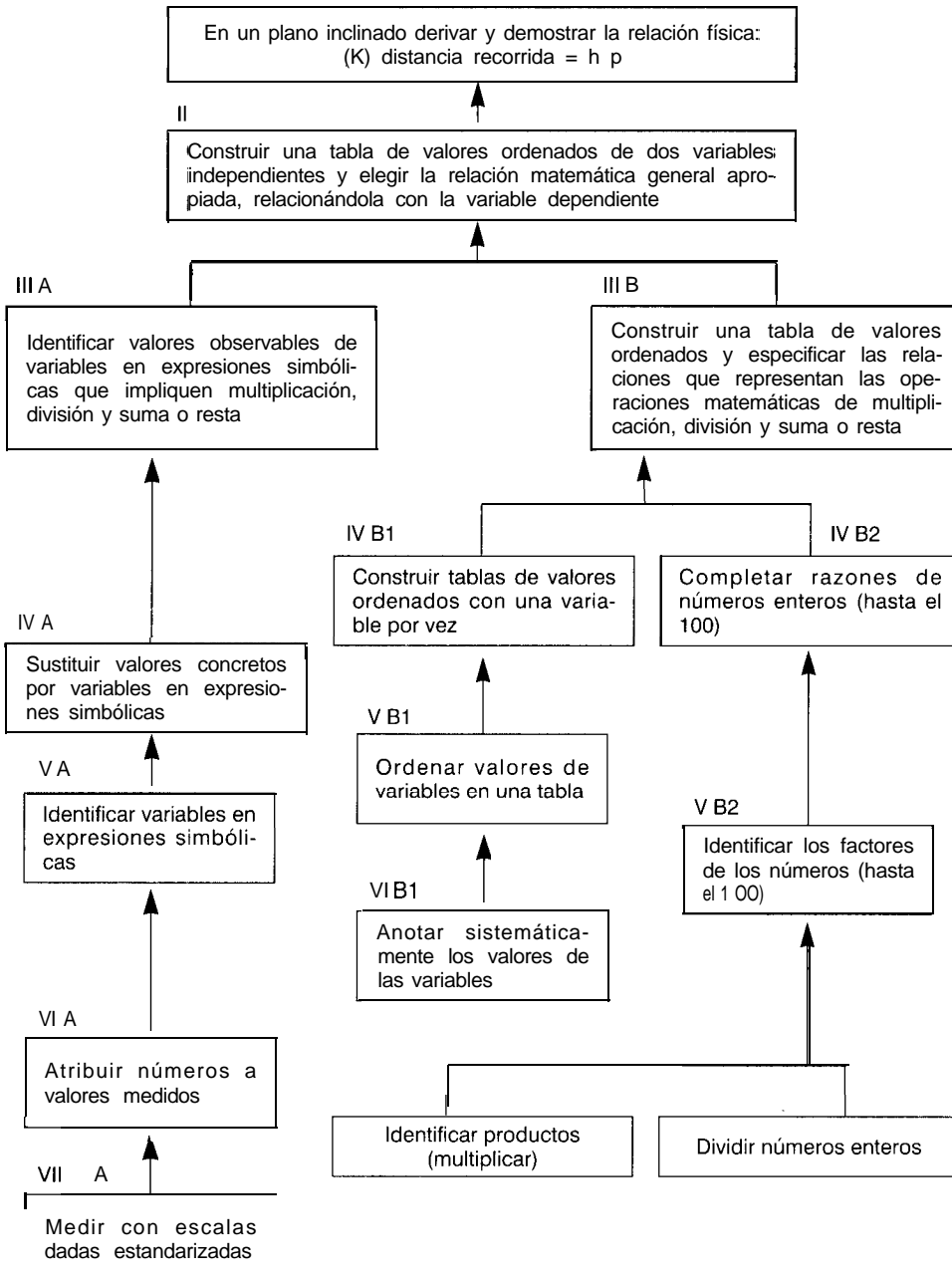
su valor formativo para los alumnos, sino porque son contenidos esenciales de la ciencia, sin los cuales ésta no tiene sentido. En este enfoque los currículos para la educación secundaria y con ellos los materiales y las actividades didácticas emulan en lo posible el formato de la enseñanza de esas mismas materias en la universidad. La propia formación *disciplinar* del profesorado de Educación Secundaria alienta esta concepción: se trata de enseñar aquello que se aprendió y tal como se aprendió. Un currículo será mejor cuanto más científico sea, es decir, cuanto más académico resulte. La eliminación o reducción de contenidos disciplinares -es decir de los tradicionales contenidos verbales- se considera una trivialización o reducción de la propia educación científica. Además, los conocimientos suelen presentarse como saberes acabados, establecidos, trasladando a los alumnos una visión estática, absoluta, del saber científico, de forma que las teorías ya superadas o no se enseñan o se presentan como saberes abandonados, conocimientos marchitos que en suma ya no son científicos, y por tanto que no es necesario aprender.

Pero si el criterio para organizar y secuenciar los contenidos en el currículo debe ser únicamente la lógica de la disciplina científica correspondiente, algunas teorías del aprendizaje pueden ayudar a formular criterios disciplinares más eficaces para establecer esas secuencias. Así, la teoría instruccional de GAGNÉ (1985; véase también ARAÚJO y CHADWICK, 1975, o aplicada al aprendizaje de la ciencia GUTIÉRREZ, 1989; Pozo, 1987) ayuda a jerarquizar los contenidos disciplinares siguiendo un proceso inductivo, de lo simple a lo complejo, basado en el *análisis de las tareas de aprendizaje*. Por ejemplo, la Figura 8.1. presenta una jerarquía para enseñar a los alumnos a organizar datos numéricos en una tabla de doble entrada. La enseñanza y el aprendizaje de esa habilidad debería proceder de abajo *a arriba* en esa figura. Como puede verse, cada uno de los conocimientos que están en la parte superior de la figura tiene como requisito el dominio de otros conocimientos subordinados sin los cuales su enseñanza no será posible. Asimismo los criterios de secuenciación se basan en un análisis del contenido disciplinar, en este caso matemático.

## Actividades de enseñanza y evaluación

Si la ciencia transmite un saber verdadero, avalado por las autoridades académicas, el profesor es su portavoz y su función es presentar a los alumnos los productos del conocimiento científico de la forma más rigurosa y comprensible posible. El verbo que define la actividad profesional de muchos profesores es aún hoy *explicar* la ciencia a sus alumnos; y el que define lo que hacen sus alumnos suele ser copiar y repetir. Las “clases magistrales” se basan en exposiciones del profesor ante una audiencia más o menos interesada que intenta tomar nota de lo que ese profesor dice y se acompañan con algunos ejercicios y demostraciones que sirven para ilustrar o apoyar las explicaciones. Así, aunque cada profesor desarrolla de forma más o menos intuitiva sus propias rutinas didácticas, este tipo de enseñanza implica idealmente una secuencia de actividades como la que refleja la Tabla 8.1 a partir de la propia teoría de GAGNÉ (1985) antes mencionada. Puede observarse que toda la dinámica de la sesión didáctica está dirigida y controlada por el profesor, que va llevando paso a paso al alumno en su aprendizaje.

**Figura 8.1.** Un modelo de jerarquía para enseñar a los alumnos a organizar datos numéricos. (ARAÚJO y CHADWICK, 1975)





Este tipo de enseñanza conduce a evaluaciones en las que los alumnos deben a su vez devolver al profesor el conocimiento que en su momento les dio, de la forma más precisa, es decir reproductiva, posible. Cuanto más se parece lo que el alumno dice o escribe a lo que en su momento dijo el profesor o el libro de texto, mejor se califica el aprendizaje. También se utilizan en la evaluación ejercicios repetitivos (“problemas-tipo”) en los que se trata de comprobar el grado en que el alumno domina una rutina o un sistema de resolución previamente “explicado” por el profesor. Cada paso de la tabla anterior puede ser evaluado independientemente y de hecho, este enfoque, tiende a evaluaciones muy específicas o puntuales del conocimiento. La función de la evaluación, de acuerdo con las propias metas educativas de este enfoque, es más selectiva, o sumativa, que formativa. Se trata de determinar mediante la evaluación qué alumnos superan el nivel mínimo exigido, que tiene que ver con el grado en que son capaces de replicar o reproducir el conocimiento científico establecido, tal como lo recibieron.

**Tabla 8.1.** *Ejemplo de secuencia de actividades.* (Tomado de SCHUNK, 1991)

Fase	Actividad educativa
1. Atención	Anunciara la clase que es hora de comenzar
2. Expectativas	Informar a la clase de los objetivos de la lección y de la clase, y del tipo y monto del rendimiento esperado
3. Recuperación	Pedir a la clase que recuerde las reglas y los conceptos subordinados
4. Percepción selectiva	Presentar ejemplos del nuevo concepto o regla
5. Codificación semántica	Ofrecer claves para recordar la información
6. Recuperación y respuesta	Pedir a los alumnos que apliquen el concepto o la regla a nuevos ejemplos
7. Refuerzo	Confirmar la exactitud de las respuestas de los estudiantes
8. Clave para la recuperación	Practicar exámenes breves sobre el material nuevo
9. Generalización	Ofrecer repasos especiales

### **Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles**

Esta concepción educativa responde a una larga tradición que se remonta a los propios orígenes de los sistemas educativos formales, que desde siempre han tenido como una de sus funciones básicas lograr que los alumnos y futuros ciudadanos reproduzcan y, por tanto, perpetúen los conocimientos, valores y destrezas propias de una cultura. Sin embargo, este modelo tradicional resulta poco funcional en el contexto de las nuevas demandas y escenarios de aprendizaje que caracterizan a la sociedad de hoy (véase el Capítulo Primero; también

Pozo, 1996a). Parece que esas nuevas demandas no pueden satisfacerse mediante un modelo educativo meramente transmisor, unidireccional, en el que el profesor actúa únicamente como *proveedor* de un saber cultural acabado y en el que los alumnos apenas se limitan a ser receptores más o menos pasivos. En una sociedad que cada vez más requiere de los alumnos y futuros ciudadanos que usen sus conocimientos de modo flexible ante tareas y demandas nuevas, que interpreten nuevos problemas a partir de los conocimientos adquiridos y que conecten sus conocimientos escolares con la sociedad de la información en la que están inmersos, no parece bastar con *llenar* la cabeza de los alumnos, sino que hay que enseñarles a enfrentarse de un modo más activo y autónomo a los problemas, lo cual requiere no sólo nuevas actitudes, contrarias a las generadas por este modelo tradicional, basado en un saber externo y autoritario, sino sobre todo destrezas y estrategias para activar adecuadamente los conocimientos.

El modelo tradicional basado en la transmisión de saberes conceptuales establecidos no asegura un uso dinámico y flexible de esos conocimientos fuera del aula, pero además plantea numerosos problemas y dificultades dentro de las aulas. Con mucha frecuencia se produce un divorcio muy acusado entre las metas y motivos del profesor y de los alumnos, con lo que éstos se sienten desconectados y desinteresados, al tiempo que el profesor se siente cada vez más frustrado. Es frecuente escuchar a los profesores que cada vez son menos los alumnos que les *siguen*, entre otras cosas porque posiblemente cada vez son menos los alumnos que entienden *a dónde va* el profesor con su ciencia y menos aún los que se sienten con fuerzas o con ganas de ir con él. Como vimos en el Capítulo III, el problema de la motivación, del moverse hacia la ciencia con el profesor, no es sólo un problema de falta de disposición previa por parte de los alumnos, sino también de compartir metas y destinos, de aprendizaje e interacción en el aula, por lo que abordar este problema cada vez más común en las aulas de secundaria -dado el carácter cada vez menos selectivo de esta etapa- requiere adoptar enfoques educativos que atiendan más a los rasgos y disposiciones de los alumnos que realmente hay en las aulas, es decir, que centren la labor educativa más en los propios estudiantes. Uno de los enfoques desarrollados con este fin fue, y aún sigue siendo, la enseñanza por descubrimiento.

### ***La enseñanza por descubrimiento***

Frente a la idea de que la mejor forma de enseñar ciencia es transmitir a los alumnos los productos de la actividad científica, es decir, los conocimientos científicos, otra corriente importante en la educación científica, con menos partidarios sin duda, pero no con menor tradición, es la de asumir que la mejor manera de que los alumnos aprendan ciencia es haciendo ciencia, y que su enseñanza debe basarse en experiencias que les permitan investigar y reconstruir los principales descubrimientos científicos. Este enfoque se basa en el supuesto de que la metodología didáctica más potente es de hecho la propia metodología de la investigación científica. Nada mejor para aprender ciencia

que seguir los pasos de los científicos, enfrentarse a sus mismos problemas para encontrar las mismas soluciones. O puesto en palabras de un científico reconocido: “el método que favorece la transmisión de/ conocimiento es el mismo que favorece su creación....No hay ninguna necesidad de hacer trampas, de disfrazar, de añadir. . . Todo conocimiento, por riguroso y complejo que sea, es transmisible usando el propio método científico, con las mismas dudas, los mismos errores y las mismas inquietudes. Y ello es además independientemente de la edad y formación de los destinatarios de/ conocimiento”. (WAGENSBERG, 1993, págs. 94-95). O en otras palabras, la mejor manera de aprender algo es descubrirlo o crearlo por ti mismo, en lugar de que otra persona haga de intermediario entre ti y el conocimiento. Como ya dijo PIAGET (1970, pág. 28-29 de la trad. cast.) en una frase que se ha hecho célebre “cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y en consecuencia entenderlo completamente”. Desde este punto de vista, la enseñanza de la ciencia debe estar dirigida a facilitar ese descubrimiento.

## Supuestos y metas de la educación científica

La idea de que los alumnos pueden acceder a los conocimientos científicos más relevantes mediante un descubrimiento más o menos personal parte del supuesto de que están dotados de unas capacidades intelectuales similares a las de los científicos, es decir, que en términos de las posiciones analizadas en el Capítulo V, hay una *compatibilidad* básica entre la forma en que abordan las tareas los científicos y la forma en que la abordan los niños, o que al menos estos últimos enfrentados a las mismas tareas y situaciones que los científicos acabarán desarrollando las estrategias propias del método científico y accediendo a las mismas conclusiones y elaboraciones teóricas que los científicos. La mente de los alumnos estaría *formateada* para hacer ciencia y de hecho la ciencia sería un producto natural del desarrollo de esa mente. Los modos de pensar de los alumnos y de los científicos no diferirían en lo esencial cuando estuvieran ante el mismo problema y vivieran las mismas experiencias. Todo lo que hay que hacer, que no es poco, es lograr que los alumnos vivan y actúen como pequeños científicos.

Además de este supuesto de compatibilidad, la enseñanza por descubrimiento en su versión más tradicional (ya que hay formas de aprendizaje por investigación próximas a este enfoque pero con distintos supuestos, que analizaremos unas páginas más adelante), asume también que ese *método científico*, la aplicación rigurosa de unas determinadas estrategias de investigación, conduce necesariamente al descubrimiento de la estructura de la realidad. Si nos enfrentamos con rigor científico a una situación, acabaremos por descubrir los mismos principios que en ella encontraron los científicos, ya que lo que éstos hacen es desentrañar la estructura del mundo, que si no puede ser directamente percibida, sí resulta accesible recurriendo a ciertos métodos. Se trata de una concepción que puede incluirse en el realismo interpretativo, tal como se caracterizó en el Capítulo IV, o si se prefiere, de una concepción inductivista

de la ciencia según la cual lo que diferencia e identifica al conocimiento científico es únicamente el método o la forma en que se accede a él (WAGENSBERG, 1993). Los productos de la ciencia -sus modelos y teorías- son una consecuencia directa y necesaria del diálogo entre el método y la naturaleza. Por tanto, si el alumno se enfrenta a la naturaleza de *la forma* en que lo hacen los científicos, hará sus mismos descubrimientos. “La *idea fundamental para la transmisión del conocimiento consiste en la tendencia a poner al destinatario de la transmisión literalmente en la piel de quien lo ha elaborado*” (WAGENSBERG, 1993, pág. 95). Pero ese descubrimiento no tiene por qué ser necesariamente autónomo, sino que puede y debe ser guiado por el profesor a través de la planificación de las experiencias y actividades didácticas.

### **Crterios para seleccionar y organizar los contenidos**

Los criterios para seleccionar y organizar los contenidos siguen siendo, como en el enfoque anterior, exclusivamente disciplinares, si bien en este caso esos conocimientos disciplinares no constituyen saberes estáticos, ya acabados, sino problemas a los que enfrentarse en busca de una solución. El currículo se organiza en torno a preguntas más que en torno a respuestas. Por ello, cabe pensar que la propia historia de las ciencias debe desempeñar un papel esencial en la organización y secuenciación de los contenidos. Se tratará de replicar ciertos experimentos *cruciales* y de situar al alumno en el papel del científico.

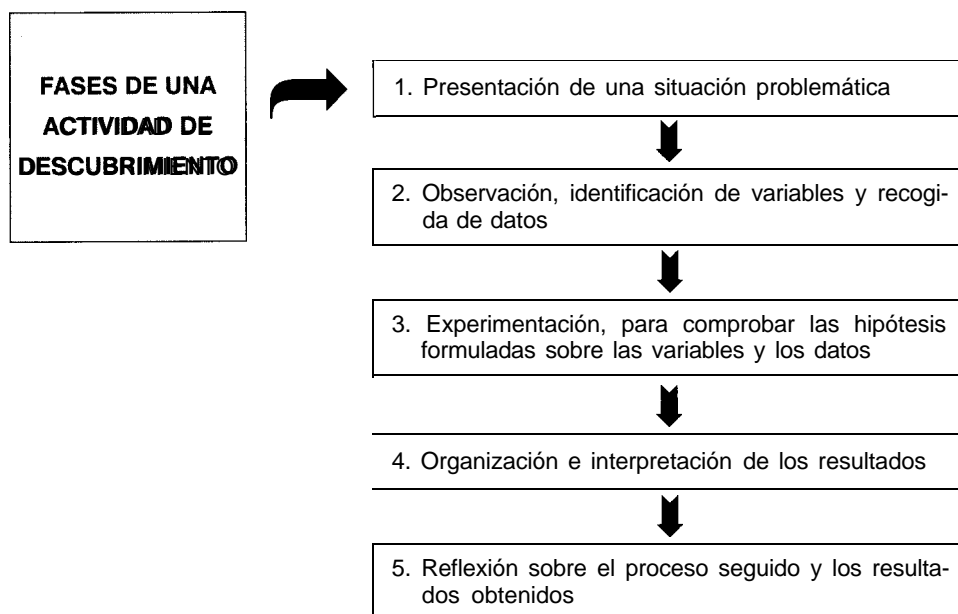
Asimismo la enseñanza y la aplicación del “método científico” debe constituir uno de los ejes vertebradores del currículo. Desde el punto de vista psicológico, ello implica que los currículos asuman en buena medida el desarrollo de un pensamiento científico o formal en los alumnos, tal como se definió en el Capítulo III, ya que ello asegurará el acceso a los contenidos conceptuales más relevantes. La ciencia no sería tanto un conjunto o sistema de teorías para interpretar el mundo como un método, una *forma* de acercarse al mundo e indagar sobre él, de modo que, desde el punto de vista de los contenidos del currículo, se asume que la ciencia es ante todo un *proceso* (WELLINGTON, 1989). Igualmente, este enfoque, a diferencia de la concepción más tradicional, estará orientado también a fomentar en los alumnos las actitudes propias de los científicos, ya que los estímulos o motivos que favorecen el aprendizaje de la ciencia deben ser los mismos que mueven a los científicos (WAGENSBERG, 1993). No se trata de hacer de los alumnos pasivos receptores de información sino investigadores activos de la naturaleza.

### **Actividades de enseñanza y evaluación**

Como puede preverse, las actividades de enseñanza deben asemejarse, según esta concepción, a las propias actividades de investigación. Dado que el método científico es también el método de enseñanza, de lo que se trata es de diseñar escenarios para el descubrimiento y de hacer que el papel del profesor

y de la didáctica se haga lo menos visible. Hacer ciencia y aprender ciencia es lo mismo. El profesor debe facilitar el descubrimiento de los alumnos a partir de ciertas actividades más o menos guiadas. Aunque existen diferentes propuestas para el desarrollo de esas actividades de descubrimiento, una posible secuencia podría ser la presentada en la Figura 8.2, a partir de los análisis de JOYCE y WEIL (1978).

Figura 8.2. Fases de las que consta una actividad de descubrimiento según JOYCE y WEIL (1978)



La actividad comenzaría confrontando a los alumnos con una situación problemática, entendiendo por tal un hecho sorprendente o inesperado. A continuación los alumnos deberían recoger la mayor cantidad de información posible sobre ese hecho, observando, midiendo e identificando las variables relevantes. Una vez identificadas esas variables, se trataría de experimentar con ellas, separando y controlando sus efectos y midiendo su influencia, lo que permitiría interpretar y organizar la información recogida, relacionando los datos encontrados con diversas hipótesis explicativas. Finalmente se trataría de reflexionar no sólo sobre los resultados obtenidos y sus implicaciones teóricas sino también sobre el método seguido.

Una secuencia de este tipo, muy similar a las que se postulan en diversos modelos de enseñanza basados en la solución de problemas, implica una labor docente bien distinta de la exigida en el enfoque anterior. El profesor no provee al alumno de respuestas pre-empaquetadas sino, al contrario, le nutre de problemas y deja que sea el propio alumno el que busque sus respuestas. La labor

del profesor está más próxima a la de un director de investigación (Pozo, 1996a). El profesor puede suscitar conflictos o preguntas, pero deben ser los alumnos los que los resuelvan. Su función no es dar respuestas, es hacer preguntas.

La evaluación a partir de esta estrategia didáctica resulta más completa y compleja que en el modelo tradicional anterior. No sólo hay que tener en cuenta el conocimiento conceptual alcanzado, sino también la forma en que se alcanza, es decir los procedimientos y actitudes desplegados por los alumnos. Al centrar la actividad didáctica en el propio trabajo de los alumnos, la evaluación deberá apoyarse también en ese tipo de situaciones. Pero aunque este enfoque se centra sobre todo en la enseñanza y evaluación de los *procesos* de la ciencia, tampoco renuncia a sus productos. Dado que la aplicación rigurosa del método conduce necesariamente a ciertos descubrimientos, se asume también que subsidiariamente el alumno debe alcanzar niveles adecuados de comprensión de los objetos que investiga. Sin embargo, esto con frecuencia no sucede.

### **Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles**

La enseñanza por descubrimiento, ya sea autónomo o guiado, ha sido criticada por numerosas razones ya que, a pesar de que aparentemente ayuda a superar algunas de las dificultades más comunes en la enseñanza tradicional, genera otros muchos problemas no menos importantes. Tal vez la crítica más completa y sistemática a la “epistemología del descubrimiento” sea aún hoy la que AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN (1978) realizaron para justificar su modelo de enseñanza expositiva del que nos ocuparemos unas páginas más adelante. La Tabla 8.2 resume las doce críticas que estos autores realizaron a lo que, según ellos, eran los doce principios básicos de la enseñanza por descubrimiento (otros análisis críticos de este enfoque aplicado a la educación científica pueden encontrarse en Pozo, 1987; WELLINGTON, 1989).

A los efectos de esta exposición, en la Tabla 8.2 destacan cuatro dificultades esenciales de aprendizaje y enseñanza en la aplicación de este método'. En primer lugar, al asumir la compatibilidad básica entre la mente de los alumnos y la mente de los científicos, se parte del supuesto de que éstos pueden aprender y actuar en múltiples contextos como pequeños científicos. Sin embargo, por deseable que resulte este propósito, parece alejarse bastante de las propias capacidades mostradas por los alumnos. Aunque, desde una edad temprana, los niños puedan utilizar formas incipientes de pensamiento próximo al de los científicos -por ej., en contextos muy restringidos niños de 4-5 años pueden llegar a someter a comprobación determinadas hipótesis (CAREY y COLS., 1989; TSCHIRGI, 1980)- parece aceptarse hoy día que el razonamiento científico no es la forma usual en que resolvemos nuestros problemas cotidianos. Nuestro pensamiento se basaría en numerosos sesgos y reglas heurísticas que se desvían bastante de la aplicación canónica del método científico (ver Capítulo III al respecto). Igualmente, cuando se analiza el uso que hacen los alumnos del llamado pensamiento formal al verse enfrentados a tareas con contenido científico (véase Capítulo III), los datos no son muy esperanzadores. Si para aprender

**Tabla 8.2.** Ideas en las que se basa la enseñanza por descubrimiento y críticas a las mismas de AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN (1978)

IDEAS BÁSICAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo el conocimiento real es descubierto por uno mismo</li> <li>• El significado es un producto exclusivo del descubrimiento creativo, no verbal</li> <li>• El conocimiento subverbal es la clave de la transferencia</li> <li>• El método de descubrimiento constituye el principal método para la transmisión del contenido de las materias de estudio</li> <li>• La capacidad de resolver problemas constituye la meta <i>primaria</i> de la educación</li> <li>• El adiestramiento en la "heurística" del descubrimiento es más importante que el entrenamiento en la materia de estudio</li> <li>• Todo niño debe ser un pensador creativo y crítico</li> <li>• La enseñanza basada en exposiciones es autoritaria</li> <li>• El descubrimiento organiza el aprendizaje de modo efectivo para su uso ulterior</li> <li>• El descubrimiento es un generador singular de motivación y confianza en sí mismo</li> <li>• El descubrimiento constituye una fuente primaria de motivación intrínseca</li> <li>• El descubrimiento asegura la "conservación de la memoria"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayor parte de lo que uno sabe consiste en ideas que han sido descubiertas por otros y posteriormente comunicadas significativamente</li> <li>• Confunde los ejes horizontal y vertical del aprendizaje. El descubrimiento no es la única alternativa a la memorización</li> <li>• Los conocimientos científicos están constituidos en redes semánticas y sólo son accesibles verbalmente</li> <li>• El método de descubrimiento es muy lento y, sobre todo, se apoya en un inductivismo ingenuo</li> <li>• La capacidad de resolver problemas científicos nuevos de un modo autónomo no está al alcance de la mayor parte de los alumnos</li> <li>• No se pueden resolver problemas científicos a menos que se disponga de un amplio bagaje de conocimientos con respecto al área temática de la que se trate</li> <li>* El pensamiento teórico creativo sólo está presente en algunos niños excepcionales y no es "democrático" estructurar todo currículo de acuerdo con las necesidades de esos pocos niños</li> <li>• No hay nada inherentemente autoritario en presentar o explicar ideas a otros, mientras no se les obligue, explícita o tácitamente, a aceptarlas como dogmas</li> <li>• El método de descubrimiento no conduce necesariamente a una organización, transformación y utilización del conocimiento más ordenadas, integradoras y viables</li> <li>• La motivación y la confianza en sí mismo se alcanzarán sólo si el descubrimiento concluye en éxito, cosa que no debe esperarse de un modo generalizado</li> <li>• La motivación intrínseca está relacionada con el nivel de autoestima del niño, pero no con la estrategia didáctica empleada</li> <li>• No hay pruebas de que el método por descubrimiento produzca un aprendizaje más eficaz y duradero que la enseñanza receptiva significativa</li> </ul>

ciencia es condición necesaria aplicar los métodos del “pensamiento científico” en contextos de investigación y solución de problemas, la mayor parte de los alumnos de educación secundaria tendría graves dificultades para acceder al conocimiento científico. O, como señalaban ya **AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN (1978)**, una enseñanza basada en el descubrimiento sería accesible para muy pocos alumnos y difícilmente podría cumplir con los objetivos de la educación científica secundaria, que debe adecuarse a las capacidades y condiciones de la mayoría de los alumnos a los que va dirigida.

En parte, el problema que acabamos de mencionar se deriva del supuesto, mantenido por los defensores de este enfoque, según el cual el dominio de ciertas reglas formales de pensamiento -vagamente definidas como el método científico- conduce necesariamente al descubrimiento de las reglas y leyes que rigen el funcionamiento de la naturaleza. Este inductivismo ingenuo (**AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978; POZO, 1987**) no se ajusta en absoluto a los modelos desarrollados desde la propia epistemología de las ciencias, que resaltan cada vez más la importancia de los modelos y las teorías como guía de la investigación científica (**DUCHSL, 1994; ESTANY, 1990; LAKATOS, 1978**); ni a los datos procedentes de la investigación psicológica, que muestran que sin un dominio de los sistemas conceptuales implicados la eficacia de las reglas formales de pensamiento es muy limitado. Adultos universitarios capaces de utilizar formas de pensamiento muy sofisticadas en su dominio de conocimiento se muestran sin embargo muy limitados en sus razonamientos e inferencias cuando se enfrentan a tareas de otros dominios (**POZO y CARRETERO, 1989, 1992**). En suma, las reglas formales del pensamiento no son ajenas al contenido de la tarea, como muestran los estudios sobre solución de problemas y razonamiento en muy diferentes dominios, incluidas diversas áreas de la ciencia (**PÉREZ ECHEVERRÍA y POZO, 1994**). El pensamiento formal, o el dominio de las habilidades del método científico, sería en el mejor de los casos una competencia necesaria, pero no suficiente, para acceder al conocimiento científico (**POZO y CARRETERO, 1987**).

Un tercer problema de este enfoque educativo, sin duda relacionado con lo que acabamos de señalar, es que no diferencia adecuadamente entre los procesos de ciencia, los procedimientos de aprendizaje de los alumnos y los métodos de enseñanza (**WELLINGTON, 1989**). Asumir que los procesos de la ciencia se convierten automáticamente en procedimientos para su aprendizaje y actividades de enseñanza supone no sólo confundir aprendizaje y enseñanza, como señalan **AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN (1978)** en las críticas recogidas en la Tabla 8.2, sino también confundir la distinta naturaleza y función social de los contextos de investigación científica y los contextos educativos. Como veíamos al final del Capítulo III (ver también **POZO, POSTIGO y GÓMEZ CRESPO, 1995**), hacer equivalentes los procedimientos, como contenido de la educación científica, con los procesos de elaboración del conocimiento científico, supone reducir los contenidos procedimentales a aquellos implicados en hacer ciencia en detrimento de otros procedimientos, que si bien pueden no ser propios de la actividad de los científicos, resultan imprescindibles para *aprender ciencia* (véase el Capítulo III al respecto).

Como veremos más adelante, esta confusión no sólo está presente en la enseñanza por descubrimiento sino en otros enfoques educativos también basados en la investigación, que establecen un gran paralelismo entre la actividad de los científicos y la actividad de los niños. Si la enseñanza tradicional



situaba a los alumnos en un papel opuesto al de los científicos -éstos producen conocimiento y aquéllos lo consumen por intermediación del profesor- el enfoque del descubrimiento hace de los alumnos sus propios productores de conocimiento, con lo que la labor del profesor queda hueca de sentido o al menos resulta notablemente ambigua (COLL, 1983), lo que en nuestra opinión plantea un cuarto problema no menos importante. Si los alumnos deben descubrir el conocimiento por sí mismos, ¿cuál es la labor del profesor? En el mejor de los casos puede ser un facilitador, pero con frecuencia puede convertirse en un obstaculizador si pretende ser excesivamente directivo para los supuestos de este enfoque. Es el dilema planteado hace ya algunos años cuando se trataba de aplicar la teoría de PIAGET a la educación desde el enfoque del descubrimiento: o se lo enseñamos muy pronto y no pueden entenderlo o se lo enseñamos demasiado tarde y ya lo saben (DUCKWORTH, 1979). El enfoque del descubrimiento desenfoca por completo al profesor, y con él, como cabe suponerse, a la propia labor educativa, que pierde buena parte de su función social de transmitir la cultura a los futuros ciudadanos, dejando que sean éstos los que de forma más o menos autónoma la descubran. No es extraño que los más firmes detractores de este enfoque hayan sido al tiempo firmes defensores de una enseñanza más dirigida, de carácter expositivo, en la que la figura del profesor recupere el centro del escenario educativo. Tal es el caso del enfoque de enseñanza expositiva ausubeliano (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978).

### **La enseñanza expositiva**

Según AUSUBEL, los problemas generados por la enseñanza tradicional no se deberían tanto a su enfoque expositivo como al inadecuado manejo que hacía de los procesos de aprendizaje de los alumnos, por lo que, para fomentar la comprensión, o en su terminología un aprendizaje *significativo*, no hay que recurrir tanto al descubrimiento como a mejorar la eficacia de las exposiciones. Para ello hay que considerar no sólo la lógica de las disciplinas sino también la lógica de los alumnos. De hecho, para AUSUBEL (1973, pág. 214 de la trad. cast.) el aprendizaje de la ciencia consiste en *“transformar el significado lógico en significado psicológico”*, es decir en lograr que los alumnos asuman como propios los significados científicos. Para ello la estrategia didáctica deberá consistir en un acercamiento progresivo de las ideas de los alumnos a los conceptos científicos, que constituirían el núcleo de los currículos de ciencias.

### **Supuestos y metas de la educación científica**

La meta esencial de la educación científica desde esta posición es transmitir a los alumnos la estructura conceptual de las disciplinas científicas, que es lo que constituye el “significado lógico” de las mismas: *“Cualquier currículo de ciencias digno de tal nombre debe ocuparse de la presentación sistemática de un cuerpo organizado de conocimientos como un fin explícito en sí mismo”* (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978, pág. 466 de la trad. cast.). De esta manera, el resto de los conteni-

dos del currículo de ciencias, tales como las actitudes y los procedimientos, que dan relegados a un segundo plano. Lo importante es que los alumnos acaben por compartir los significados de la ciencia. Este énfasis en un conocimiento externo al alumno, que éste debe recibir con la mayor precisión posible, se complementa con la asunción de que los alumnos poseen una lógica propia de la que es preciso partir, expresada en la más conocida máxima ausubeliana: “si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averíguese esto y enséñese en consecuencia” (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978, pág. 1).

Esta necesidad de partir de los conocimientos previos de los alumnos pero también de apoyarse en la lógica de las disciplinas ha conducido a ciertas interpretaciones contrapuestas sobre los supuestos epistemológicos de los que parte la teoría de AUSUBEL. Aunque sus partidarios se han situado claramente dentro del marco de las teorías constructivistas (MOREIRA y NOVAK, 1988; NOVAK, 1977, 1985, 1995; NOVAK y GOWIN, 1984), según otros autores, al convertir el aprendizaje en la asimilación de un conocimiento externamente elaborado, se situaría más cerca de posiciones positivistas o empiristas (GUTIÉRREZ, 1987; STRIKE y POSNER, 1992). Aunque la teoría del aprendizaje significativo de AUSUBEL concede un importante papel a la actividad cognitiva del sujeto que sin duda la sitúa más próxima a una concepción constructivista (véase la exposición sobre el aprendizaje significativo en el Capítulo IV; también GARCÍA MADRUGA, 1990; POZO, 1989), parece asumir asimismo que ese acercamiento entre el significado psicológico y el lógico requiere un cierto paralelismo entre las estructuras conceptuales del alumno y las estructuras de conocimiento científico, de forma que su acercamiento progresivo a través del aprendizaje significativo exigiría una *compatibilidad* básica entre ambos sistemas de conocimiento. De hecho, el propio AUSUBEL (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978) asume que su propuesta sólo es válida con alumnos que hayan alcanzado un determinado nivel de desarrollo cognitivo y de dominio de la terminología científica, por lo que sólo sería eficaz a partir de la adolescencia. De esta forma los procesos de aprendizaje implicados no supondrían una reestructuración de los principios del conocimiento cotidiano -desarrollados en el Capítulo IV-, por lo que el tipo de mecanismos constructivos postulados consistiría en procesos de diferenciación e integración conceptual, compatibles también con las teorías asociativas del aprendizaje (POZO, 1989), lo que justificaría el ambiguo “estatuto epistemológico” de la teoría de AUSUBEL.

### **Crterios para seleccionar y organizar los contenidos**

Si la meta de la educación científica es trasladar a los alumnos esos “cuerpos organizados de conocimiento” que constituyen las disciplinas científicas, el criterio básico para organizar y secuenciar los contenidos del currículo de ciencias debe ser la propia estructura conceptual de esas disciplinas. AUSUBEL considera además que tanto el conocimiento disciplinar como su aprendizaje están estructurados de acuerdo a un principio de *diferenciación progresiva* que debe ser el que rija la organización del currículo. Según este principio, “la organización del contenido de un material en particular en la mente de un individuo consiste en una estructura jerárquica en la que las ideas más inclusivas ocupan el

ápice e incluyen las proposiciones, conceptos y datos fácticos progresivamente menos inclusivos y más finamente diferenciados” (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978). En suma, el currículo debería proceder de lo general a lo específico, por procesos de diferenciación conceptual progresiva. Según AUSUBEL, es más fácil aprender por diferenciación conceptual que por el proceso inverso, mediante integración jerárquica. Así habría que partir de nociones más generales para luego proceder a su diferenciación, en vez de partir de conceptos más específicos pretendiendo su “reconciliación integradora” en una noción más inclusora. En términos de su teoría, el aprendizaje subordinado es más fácil que el aprendizaje supraordinado. Además, cada nuevo contenido conceptual debería apoyarse y relacionarse explícitamente en los contenidos anteriores. La organización explícita de los contenidos en forma de una estructura jerárquica es necesaria para evitar la disgregación de los contenidos, su mera acumulación en forma de compartimientos estancos. Esta necesidad de conectar unos contenidos con otros afecta no sólo a la estructura general del currículo sino a la propia organización de las actividades de enseñanza.

### Actividades de enseñanza y evaluación

Para que una explicación o exposición, ya sea oral o escrita, resulte eficaz, es preciso, según AUSUBEL, que establezca de modo explícito relaciones entre la nueva información que va a presentarse y ciertos conocimientos que ya estén presentes en la estructura conceptual del alumno. De hecho, como vimos en el Capítulo IV al explicar los procesos del aprendizaje significativo, la comprensión implica para AUSUBEL una asimilación de la nueva información a ciertas *ideas inclusoras* presentes en la mente del alumno. Cuando no existan esas ideas inclusoras o su activación directa resulte improbable, es preciso recurrir a un *organizador previo*, lo que suele constituir la primera fase en una secuencia de enseñanza basada en la teoría de AUSUBEL (ver Tabla 8.3).

Ese organizador previo, que antecede al material de aprendizaje propiamente dicho, tiene por función “*tender un puente cognitivo entre lo que el alumno ya sabe y lo que necesita saber antes de aprender significativamente la tarea en cuestión*” (AUSUBEL, NOVAK y HANESIAN, 1978, pág. 158 de la trad. cast.). Es preciso además, siguiendo el principio de diferenciación progresiva antes establecido, que los organizadores previos tengan un nivel de generalidad mayor que las ideas cuyo aprendizaje pretenden introducir. Como refleja la Tabla 8.3, la propia presentación del organizador implica a su vez varios pasos y debe conducir a una segunda fase en la que se presente el material de aprendizaje en sí, es decir el contenido conceptual de la actividad de enseñanza. Aunque pueden utilizarse muy diferentes recursos para la presentación de ese material (lecturas, discusiones, experiencias, exposiciones, etc.), en todo caso su organización ha de ser siempre explícita, debiendo el profesor dirigir y guiar la atención de los alumnos de forma que capten esa organización. El recurso más usual para lograr esa explicitación es la explicación por parte del profesor, que en todo caso deberá completarse con una tercera fase, en la que se refuerzan todos los lazos y relaciones conceptuales tendidos, no sólo entre el organizador previo y el material de aprendizaje, sino también con otros

conocimientos anteriormente presentados, de forma que se haga una vez más explícita la estructura conceptual del currículo.

**Tabla 8.3.** Fases de la enseñanza expositiva basada en el uso *de* organizadores previos, según *JOYCE* y *WEIL*. (1978, pag. 99 de la trad. cast.)

<b>Fase primera</b>	<b>Fase segunda</b>
<i>Presentación del organizador</i>	<i>Presentación del material de trabajo</i>
Aclarar los objetivos de la lección	Explicitar la organización
Presentar el organizador	Ordenar lógicamente el aprendizaje
Aislar las propiedades definitorias	Mantener la atención
Dar ejemplos	Presentar el material
Aportar un contexto	
Repetir	
Incitar el conocimiento y experiencia del sujeto	
<b>Fase tercera</b>	
<i>Potenciar la organización cognoscitiva</i>	
Utilizar los principios de reconciliación integradora	
Promover un aprendizaje de recepción activa	
Susitar un enfoque crítico	
Explicar	

En cuanto a las actividades de evaluación, se centran de modo casi exclusivo en el conocimiento conceptual y deben consistir en tareas que hagan explícita la estructura conceptual adoptada por el alumno, su capacidad de relacionar unos conceptos con otros, haciendo un especial hincapié en la diferenciación entre conceptos conexos. Aunque originalmente *AUSUBEL* concedió menos importancia en su modelo a la evaluación que a las estrategias de enseñanza, su concepción educativa hace necesario disponer de técnicas que permitan evaluar con la mayor precisión posible las relaciones conceptuales establecidas por los alumnos, evitando la confusión con aprendizajes meramente repetitivos. En la Tabla 4.3 (de la pág. 91) sugerimos ya algunos criterios que pueden ayudar a diferenciar la comprensión de la repetición. Hay además diferentes técnicas desarrolladas con el fin de evaluar “las representaciones” de los alumnos. Entre ellas, destaca la propuesta de *NOVAK* y *GOWIN* (1984) basada en entrenar a los alumnos en la elaboración de mapas conceptuales, que permiten explicitar las relaciones conceptuales establecidas por los alumnos dentro de un determinado campo semántico. Los mapas conceptuales, ejemplificados en las Figuras 8.3 y 8.4, sirven no sólo como instrumento de evaluación sino también como recurso metacognitivo para fomentar un mayor aprendizaje conceptual en los alumnos. En esas figuras se recogen dos mapas conceptuales sobre el mismo tema, uno de ellos hecho por un experto y el otro por un alumno. Como puede observarse, no sólo difieren en la cantidad de información -en el mapa del alumno, representado en la Figura 8.3, faltan algunos concep-

tos esenciales- sino sobre todo en su red de relaciones, que está más jerarquizada, diferenciada e interconectada en el caso del mapa hecho por el experto (Figura 8.4). El aprendizaje de la ciencia, tal como se refleja en la elaboración de un mapa conceptual, implicaría no sólo aumentar el número de relaciones entre conceptos sino sobre todo explicitar el significado de esas relaciones mediante las etiquetas verbales usadas para calificarlas, creando un entramado de conceptos lo más complejo y organizado posible.

Figura 8.3. Ejemplo de mapa conceptual preparado por un alumno que demuestra mantener proposiciones equivocadas o en el que faltan conceptos clave (añadidos con líneas punteadas). (Tomado de NOVAK y GOWIN, 1984)

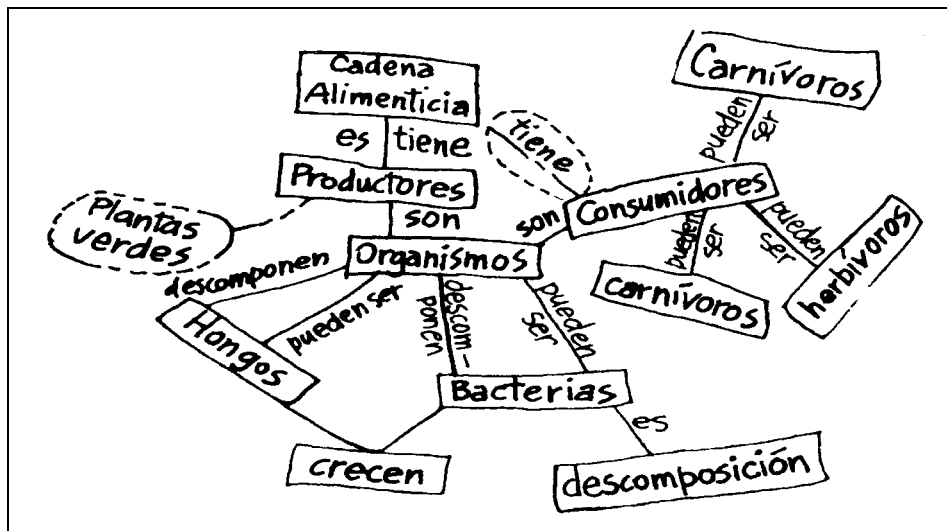
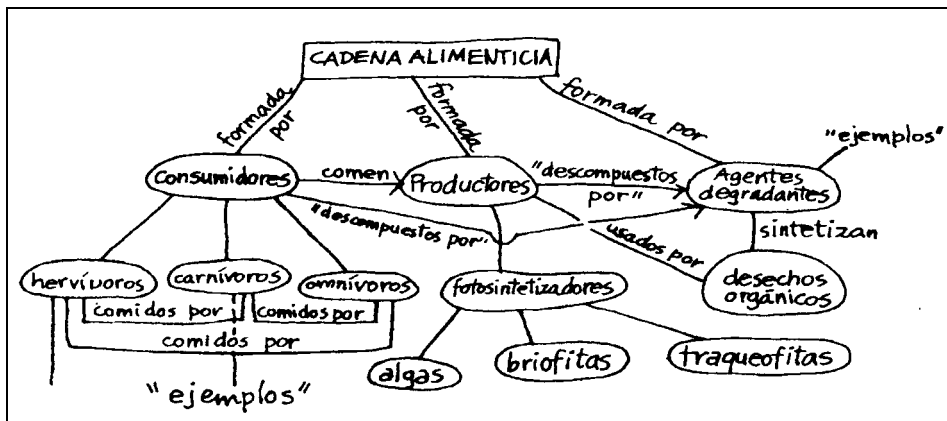


Figura 8.4. Ejemplo de mapa conceptual elaborado para por un experto para planificar entrevistas con estudiantes sobre la cadena alimentaria. (Tomado de NOVAK y GOWIN, 1984)



## Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles

El modelo de enseñanza expositiva elaborado por AUSUBEL tiene la virtud de que se asemeja bastante a lo que muchos profesores expertos intentan llevar a cabo en sus aulas: establecer conexiones explícitas entre distintas partes del currículo, ayudar al alumno a activar los conocimientos pertinentes en cada caso, tener en cuenta el punto de vista del alumno y conectar con él los nuevos aprendizajes, etc. (véase SÁNCHEZ, 1998a). Además se trata de una concepción cercana a la que pueden mantener muchos profesores de ciencias en la educación secundaria: transmitir cuerpos de conocimiento cerrados de una manera inteligible, basados en una fuerte organización disciplinar y apoyados sobre todo en una enseñanza expositiva que sin embargo atiende también, como punto de partida, algunos rasgos del aprendizaje de los alumnos para llevarles finalmente al único saber posible: la estructura lógica de la disciplina.

En este sentido se trata de una propuesta interesante, ya que puede ayudar a hacer más eficaz la práctica docente de muchos profesores que comparten esos criterios. Sin embargo, se trata de una concepción cuyo desarrollo plantea límites al aprendizaje de la ciencia. Aunque la enseñanza expositiva puede ser útil para lograr que los alumnos comprendan algunas nociones científicas cuando disponen de conocimientos previos a las que asimilarlas, su eficacia es más dudosa cuando se trata de cambiar de modo radical esos conocimientos previos. En otras palabras, se trata de un modelo eficaz para lograr un *ajuste* progresivo de las concepciones de los alumnos al conocimiento científico, pero insuficiente para lograr la *reestructuración* de esas concepciones de los alumnos (véase Pozo, 1989, 1996, también el Capítulo IV).

Al asumir que los nuevos conocimientos deben anclarse en los ya existentes y que el proceso de instrucción debe guiarse por una diferenciación progresiva, sólo cuando existan conceptos inclusores o *puentes cognitivos* entre el conocimiento cotidiano y el científico podrá lograrse el aprendizaje significativo, es decir, cuando ambos tipos de conocimiento difieran pero sean compatibles. En cambio, cuando exista una incompatibilidad, en el sentido en que ésta se definió en el Capítulo V, no podrá lograrse la conexión y por tanto el aprendizaje. Se trata, en suma, de una teoría de la comprensión más que de una teoría del aprendizaje constructivo. Y como teoría de la comprensión se trata de un modelo ya superado, trascendido por los más recientes desarrollos en este campo (por ejemplo, KINTSCH, 1998). La eficacia de la enseñanza expositiva, en el modelo de AUSUBEL, se halla limitada a que los alumnos dominen ya la terminología y los principios del saber científico. Pero tal como hemos analizado en la Segunda Parte del libro, los alumnos tienen teorías implícitas sobre la materia y su funcionamiento cuyos principios son incompatibles con las teorías científicas.

De hecho, la propia idea de que el aprendizaje significativo debe proceder esencialmente por procesos de diferenciación, de arriba a abajo, es muy discutible desde el punto de vista del desarrollo conceptual y está muy ligada al problema que acabamos de señalar (Pozo, 1989). Tanto los estudios sobre el desarrollo de los conceptos en los niños (por ejemplo, CAREY, 1985; KEIL, 1992, 1994; ROSCH, 1978) como los trabajos que comparan la comprensión que tienen personas expertas y novatas de un determinado dominio (por ejemplo, CHI, GLASER y FARR, 1988; GLASER, 1992; ERICSSON, 1996) muestran que el desarrollo y el

aprendizaje de conceptos procede tanto por procesos de diferenciación como de integración jerárquica, a partir de conceptos de “nivel intermedio”, anclados en nuestra experiencia cotidiana *mesocósmica*, en la apariencia de lo real. Los expertos no sólo tienen nociones más específicas que los novatos (diferencian entre fenómenos que para los novatos son semejantes), sino también principios más generales (por ejemplo, conservación de la energía) que les permiten detectar lo que hay de común entre situaciones en apariencia distintas.

Es bien cierto, como ya sugiriera el propio VYGOTSKI (1934), que los procesos de integración resultan más complejos y difíciles que los procesos de diferenciación. La propia aplicación de la enseñanza expositiva lo corrobora: sirve para diferenciar conceptos pero difícilmente puede lograrse con ellos una “reconciliación integradora”, en la terminología de AUSUBEL, es decir difícilmente puede lograrse de esta forma que el alumno construya los principios generales (epistemológicos, ontológicos y conceptuales) que dan significado a los diferentes conceptos científicos estudiados. Sólo si la teoría científica y la mantenida por el alumno comparten los mismos principios, es decir si son compatibles, puede lograrse “de arriba a abajo” la diferenciación progresiva de sus conceptos. Pero, dado el papel más bien pasivo concedido a los conocimientos previos de los alumnos, resulta difícil lograr mediante este tipo de enseñanza una reestructuración de los mismos. De hecho, parte de estas críticas condujeron a un nuevo enfoque de la enseñanza de la ciencia, basado precisamente en la activación y cambio de los conocimientos previos de los alumnos mediante su exposición sistemática a situaciones de conflicto cognitivo.

### ***La enseñanza mediante el conflicto cognitivo***

Frente a la idea de que al aprendizaje de la ciencia debe alcanzarse por un descubrimiento personal de los alumnos o mediante instrucción directa por parte de los profesores, los modelos basados en el conflicto cognitivo adoptan una posición intermedia o si se prefiere neutral (STRIKE Y POSNER, 1992): se trata de partir de las concepciones alternativas de los alumnos para, confrontándolas con situaciones conflictivas, lograr un *cambio conceptual*, entendido como su sustitución por otras teorías más potentes, es decir más próximas al conocimiento científico. Aunque debe ser el propio alumno el que tome conciencia de ese conflicto y lo resuelva, los profesores pueden utilizar todos los recursos, expositivos y no expositivos, a su alcance para hacer ver al alumno las insuficiencias de sus propias concepciones.

### **Supuestos y metas de la educación científica**

La enseñanza basada en el conflicto cognitivo asume la idea de que es el alumno el que elabora y construye su propio conocimiento y quien debe tomar conciencia de sus limitaciones y resolverlas. En este enfoque las concepciones alternativas ocupan un lugar central, de forma que la meta fundamental de la educación científica será cambiar esas concepciones intuitivas de los alumnos y

sustituirlas por el conocimiento científico. Como se señaló en el Capítulo IV, existen muy diversas formas de interpretar la naturaleza de esas concepciones y su papel en el aprendizaje, por lo que no resulta fácil extraer los supuestos comunes a todas esas posiciones, teniendo en cuenta que además en muchos casos se hallan más implícitos que explícitos. No obstante, es claro que este enfoque adopta una posición claramente constructivista ante la naturaleza del conocimiento y su adquisición (DRIVER, GUESNE y TIBERGHEN, 1985; POSNER y cols., 1982; STRIKE y POSNER, 1992). En cuanto a las relaciones entre el conocimiento cotidiano y el científico, asume normalmente el supuesto de la *incompatibilidad* entre ambas formas de conocimiento, por el que las teorías implícitas de los alumnos deben ser *sustituidas* por el conocimiento científico. La forma de lograr esa sustitución, como meta fundamental de la educación científica, es hacer que el alumno perciba los límites de sus propias concepciones alternativas y, en esa medida, se sienta insatisfecho con ellas y dispuesto a adoptar otros modelos más potentes o convincentes. El logro de esta meta condiciona la forma en que se propone la organización del currículo.

### **Criterios para seleccionar y organizar los contenidos**

Los defensores de este enfoque no suelen ser demasiado explícitos sobre los criterios que establecen para organizar los contenidos en el currículo de ciencias, más allá de que al estar dirigido al cambio *conceptual* debe adoptar una organización igualmente conceptual. Son los núcleos conceptuales de la ciencia los que constituyen el eje del currículo. Los contenidos procedimentales y actitudinales no desempeñan apenas ningún papel en la organización del currículo. Así, en la organización del currículo, esta propuesta no difiere en exceso de los criterios planteados por la enseñanza tradicional y la enseñanza expositiva, en la medida en que comparte la idea de que la meta del currículo de ciencias debe ser que los alumnos dominen y comprendan los sistemas conceptuales en los que se basa el conocimiento científico, si bien en este caso se, asume que, para lograrlo, es preciso producir una verdadera "revolución conceptual" en la mente de los alumnos.

Algunos autores (por ejemplo, STRIKE y POSNER, 1992) destacan la necesidad de dotar a esos contenidos científicos de una cierta organización jerárquica, de forma que el currículo esté dirigido a cambiar los principios básicos en que se sustentan esas concepciones alternativas, que desempeñarían un papel similar a los paradigmas de KUHN (1962) o los programas de investigación de LAKATOS (1978) en la propia elaboración del conocimiento científico. Sin embargo, la mayor parte de los desarrollos instruccionales de este enfoque han estado dirigidos más bien a combatir todas y cada una de las concepciones alternativas identificadas en los alumnos, sin establecer criterios jerárquicos entre ellas. La diferencia entre ambas posiciones reside en qué es lo que se toma como unidad de análisis y cambio en el conocimiento cotidiano: cada una de las ideas mantenidas por los alumnos o las teorías o modelos en las que éstas se engloban. Habitualmente se han adoptado, como criterio de análisis de esas concepciones y de organización del propio currículo, las ideas mantenidas por los



alumnos sobre diversos ámbitos de la ciencia (densidad, electromagnetismo, calor, fuerza y movimiento, etc.), en vez de las teorías de dominio en las que se englobaban o de los principios en que éstas se sustentaban (para la distinción entre estos niveles de análisis remitimos al lector a la Figura 4.2 de la página 104). De esta forma, a pesar de que sus supuestos epistemológicos son opuestos a los de la enseñanza tradicional, este enfoque adopta currículos organizados de forma muy similar a los de esa enseñanza tradicional, lo que afecta sin duda a la forma en que se interpretan y aplican las actividades de aprendizaje y evaluación propuestas.

### Actividades de enseñanza y evaluación

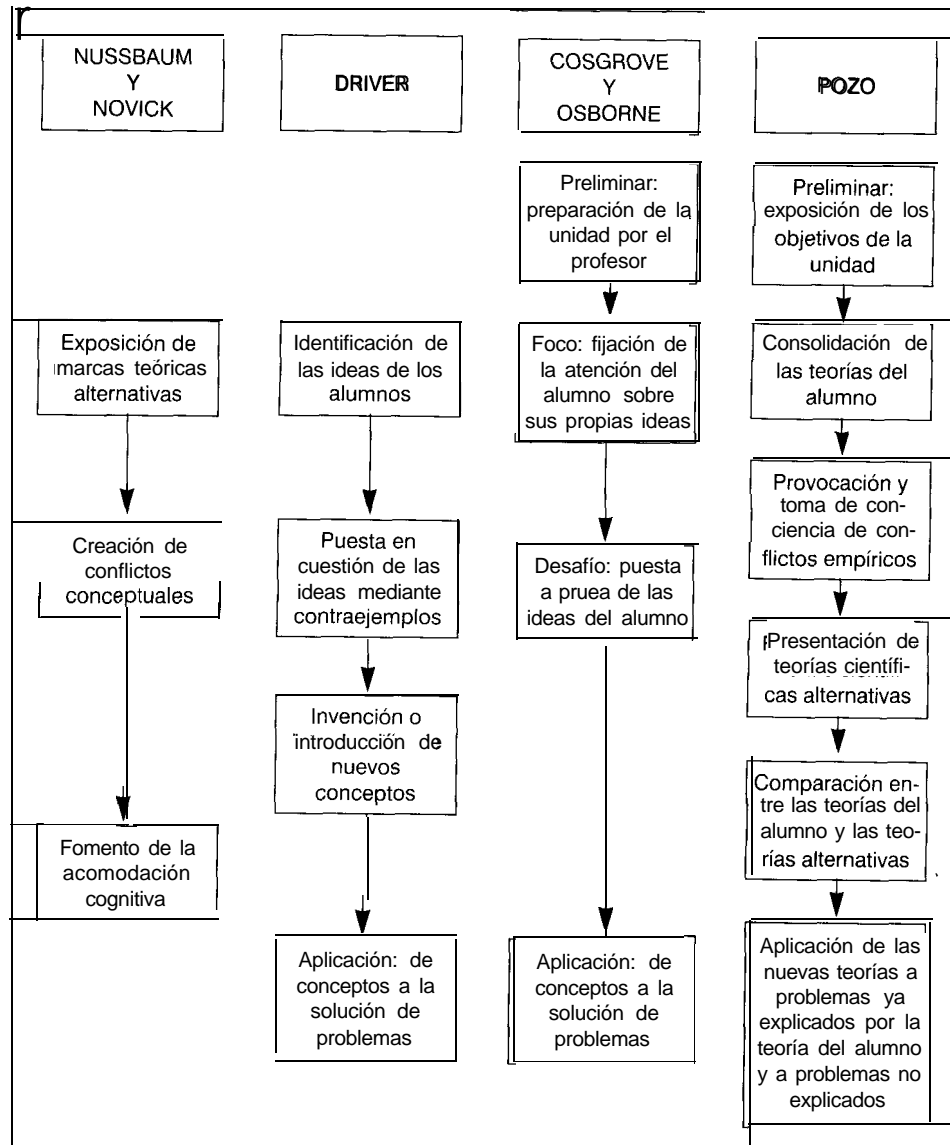
La idea básica de estos modelos es que el cambio conceptual, o sustitución de los conocimientos previos del alumno, se producirá como consecuencia de someter a esos conocimientos a un conflicto empírico o teórico que obligue a abandonarlos en beneficio de una teoría más explicativa. Así, si enfrentamos a un alumno que cree que los objetos pesados caen más rápido que los más livianos, (una idea común en nuestra física intuitiva como vimos en el Capítulo VII), a una situación en la que pueda comprobar que la velocidad de caída es independiente de la masa de los objetos, el alumno se verá obligado a reestructurar su conocimiento para asimilar la nueva información.

Obviamente, desde estos modelos no se espera que la simple presentación de la situación conflictiva dé lugar a un cambio conceptual, sino que se requerirá, como sucede en la historia de las ciencias, una acumulación de conflictos que provoquen cambios cada vez más radicales en la estructura de conocimientos de los alumnos. Para ello se diseñan secuencias educativas programadas con el fin de dirigir u orientar las respuestas de los alumnos a esos conflictos. Según el modelo establecido por POSNER y cols., (1982), que durante bastante tiempo ha dirigido las investigaciones e innovaciones producidas desde este enfoque, la provocación y resolución adecuada de esos conflictos requiere, como ya señalamos en el Capítulo V, que la situación didáctica reúna ciertas condiciones:

- a) El alumno debe sentirse insatisfecho con sus propias concepciones
- b)** Debe haber una concepción que resulte inteligible para el alumno
- c) Esa concepción debe resultar además creíble para el alumno
- d) La nueva concepción debe parecer al alumno más potente que sus propias ideas

Con el fin de lograr estos propósitos u otros similares, se han propuesto diversas secuencias de enseñanza basadas en el conflicto cognitivo. La Figura 8.5. resume algunas de esas secuencias. Como puede verse, más allá de sus diferencias, estos modelos comparten una secuencia de instruc-

**Figura 8.5.** Algunas secuencias de instrucción para el cambio conceptual. (Tomado de Pozo, 1989)



ción común, que podíamos resumir, de modo muy esquemático, en tres fases principales:

1. En un primer momento, se utilizan tareas que, mediante inferencias predictivas o solución de problemas, activen los conocimientos o la teoría previa de los alumnos. La función de estas tareas es no sólo que el profe-

sor conozca las diferentes concepciones alternativas mantenidas por los alumnos, sino que éstos tomen conciencia de sus propias representaciones, inicialmente implícitas, tal como vimos en el Capítulo IV.

2. A continuación se enfrenta a los conocimientos así activados a las situaciones conflictivas, mediante la presentación de datos o la realización de experiencias. Como frecuentemente los alumnos no serán capaces de resolver de modo productivo esos conflictos, algunos de los modelos proponen presentar teorías o conceptos alternativos que permitan integrar los conocimientos previos de los alumnos con la nueva información presentada. El grado de asimilación de estas nuevas teorías dependerá de su capacidad para explicar nuevos ejemplos y de resolver los conflictos planteados por los anteriores. En esta fase se trata de que el alumno tome conciencia no sólo de su concepción alternativa sino de los límites de esa concepción y de sus diferencias con el conocimiento científicamente aceptado. Es la fase crucial ya que en ella debe lograrse no sólo la insatisfacción con la propia concepción sino que la nueva concepción, más próxima al saber científico y a las metas del currículo, resulte inteligible y creíble.
3. En una última fase se tratará de consolidar los conocimientos adquiridos y comprender su mayor poder explicativo con respecto a la teoría anterior. El alumno abandonará su concepción previa en la medida en que perciba que dispone de una teoría mejor, que permite predecir y comprender situaciones para las cuales su teoría alternativa resultaba insuficiente. Para ello deberá generalizar o aplicar los conocimientos científicos a nuevas situaciones y tareas comprobando su eficacia.

Sobre este esquema común, existen sin embargo distintas estrategias didácticas basadas en el conflicto cognitivo, que difieren en algunos aspectos esenciales. En su mayor parte estos modelos han insistido en la necesidad de provocar conflictos empíricos, es decir, entre una concepción y un hecho. Por ejemplo, tal como vimos en el Capítulo VII, en contra de la concepción intuitiva de los alumnos los objetos más pesados no caen más rápido. En cambio, otros autores destacan más la importancia de los conflictos conceptuales, entre dos teorías o modelos, como por ejemplo comparar los diversos modelos de átomo entre sí (MORTIMER, 1995), una idea cercana a la enseñanza mediante modelos a la que volveremos más adelante.

Igualmente, se consideran de modo distinto las posibles respuestas que puede dar el alumno ante el conflicto presentado (para un análisis detallado de esas repuestas al conflicto véase Pozo, 1987, 1989). PIAGET (1975) propuso un análisis bastante detallado de las respuestas que los niños dan cuando se enfrentan, en su terminología, a desequilibrios cognitivos. La respuesta más elemental, y que menor cambio produce en los conocimientos, sería no darse cuenta del conflicto presentado (por ejemplo, creer que los resultados se ajustan a las previsiones hechas cuando no es así). Cuando el sujeto toma conciencia del conflicto, y lo convierte en una contradicción, la respuesta más sencilla sería considerarlo como un contraejemplo excepcional o como un caso anómalo que no afecta a la teoría, por lo que ésta se mantiene intacta, dando lugar

como máximo a una revisión de creencias, a una acumulación de más información sobre la teoría, tal como vimos en el Capítulo V al definir el proceso de *crecimiento* en el cambio conceptual. Una respuesta más compleja cognitivamente, y que produciría mayor cambio en la estructura de conocimiento, sería establecer ciertas diferenciaciones o generalizaciones conceptuales dentro de la propia teoría para resolver el conflicto. Estas respuestas serían equivalentes a los procesos de *ajuste* en el cambio conceptual descritos también en el Capítulo V. Por último, la respuesta más radical sería la *reestructuración* profunda de la propia teoría, dando lugar a un cambio conceptual radical que afecte a los principios que la sustentan (véanse los procesos de reestructuración en el Capítulo V). Esta última respuesta es muy infrecuente y normalmente sólo se producirá tras enfrentarse a numerosos conflictos que han sido resueltos provisionalmente mediante respuestas más simples.

De esta forma, vemos que la enseñanza basada en el conflicto cognitivo requiere un cuidadoso diseño de las actividades de enseñanza que implica también ayudar al alumno a resolver sus conflictos, en lo que difiere claramente de la enseñanza por descubrimiento. El alumno debe tomar conciencia, por un proceso de *explicitación*, al que también se hizo referencia en el Capítulo V, de los *errores* cometidos por su teoría, para acabar asumiendo la superioridad de las teorías científicas. En este sentido, los criterios de evaluación, aunque no se explicitan tanto como las actividades de enseñanza, tienden a ser próximos a los defendidos desde la enseñanza tradicional o expositiva. Al final se trata de que los alumnos compartan, hagan suyas, las teorías científicas y abandonen sus concepciones alternativas. Éstas deben ser el punto de partida de la enseñanza pero no su meta. Si bien en el proceso de enseñanza no deben penalizarse las concepciones alternativas de los alumnos, sino al contrario, fomentar su activación y discusión, en la evaluación final esas concepciones deben desaparecer, ya que ésa es la meta de la educación científica.

Sin embargo, aunque comparta ciertos criterios de evaluación con la enseñanza tradicional, este enfoque recurre a tareas y técnicas de evaluación diferentes, similares a las utilizadas para evaluar el conocimiento previo. No se trata tanto de evaluar el grado en que los alumnos verbalizan los conceptos científicos, como sucede en los modelos más al uso, como de comprobar en qué medida aplican esos conocimientos para resolver problemas y afrontar situaciones nuevas. El alumno habrá aprendido ciencia en la medida en que aplique las teorías científicas a nuevos contextos y situaciones. Sin embargo, como señala DUIT (en prensa), la aplicación de estos modelos de enseñanza, aunque sin duda haya tenido efectos muy beneficiosos en la renovación de la didáctica de la ciencia, no parece haber logrado ese objetivo básico de que los alumnos abandonen sus concepciones alternativas.

### **Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles**

La persistencia de las concepciones alternativas, después de haber sido sometidas de modo sistemático a conflictos cognitivos, constituye un serio problema para este enfoque educativo, como han reconocido los propios STRIKE y POSNER (1992) al intentar una revisión de su modelo. Hay varias causas posibles

de ese fracaso relativo. Una primera causa que tal vez sólo pueda atribuirse indirectamente al propio enfoque es la forma en que habitualmente se ha interpretado por parte de los profesores e incluso por los investigadores la propuesta del cambio conceptual mediante conflicto cognitivo. En nuestra opinión, la aceptación acrítica de este modelo en muchos ambientes educativos se debe en buena medida a la vaguedad de sus propuestas, que dejan implícitos muchos de sus supuestos (Pozo y cols., 1991), y que al mismo tiempo permiten una interpretación de los mismos que se desvía notablemente de los supuestos constructivistas del modelo. Las similitudes que hemos apuntado entre este enfoque y la enseñanza más tradicional en las metas, la organización y la evaluación del currículo -tres de sus componentes más básicos- ha conducido a una asimilación de la propuesta del cambio conceptual a esos modelos más tradicionales, de forma que se ha interpretado no como una forma distinta de concebir el currículo de ciencias sino *como* una estrategia distinta de *enseñar* la ciencia. Desde una concepción del currículo más próxima a lo que hemos dado en llamar “realismo interpretativo” -o si se prefiere desde un cierto positivismo- se ha asumido que lo que este enfoque aportaba era la necesidad de tener en cuenta las concepciones alternativas de los alumnos como punto *de partida*, pero sin modificar las metas ni la organización del currículo, ni menos aún la evaluación, que define el sentido social de la educación científica, tal como señalamos en el Capítulo Primero. De esta forma la importancia de las “ideas previas” de los alumnos para la enseñanza de la ciencia ha sido fácilmente aceptada, e integrada, en los currículos tradicionales al uso, ya que, como muestran algunos libros de texto recientes, todo se reduce a incluir ciertos *tests* iniciales para detectar esas ideas previas, sin que luego los resultados de esos tests incidan lo más mínimo en el desarrollo posterior de la actividad en el aula, que sigue centrada en la explicación por parte del profesor y en la consiguiente evaluación del grado en el que los alumnos se han *empapado* de dicha exposición.

El enfoque del cambio conceptual, bajo la apariencia de una aceptación de sus supuestos constructivistas, se tiñe así de positivismo (Pozo y cols., 1998). Se cambia la forma de enseñar -ahora hay que activar las concepciones alternativas de los alumnos- pero no la forma de evaluar ni las metas del currículo. Hay que activar las concepciones de los alumnos pero para *erradicarlas*, para hacer que desaparezcan para siempre y sean sustituidas por el conocimiento verdadero y aceptado: el saber científico positivo. Los alumnos también se empapan de este espíritu y aprenden a suprimir, o esconder, sus *ideas erróneas* cuando están en contextos escolares, pero éstas ideas reflorecen de inmediato en cuanto la tarea se presenta en un contexto menos académico (Pozo, GÓMEZ CRESPO y SANZ, en prensa).

Esta aplicación, desviada del modelo de cambio conceptual por conflicto cognitivo, no es sin embargo ajena del todo a la propia naturaleza y supuestos del modelo. Como señalábamos ya en el Capítulo V al referirnos al supuesto de incompatibilidad en el que se sustenta este enfoque, y según el cual las concepciones alternativas deben ser sustituidas por el conocimiento científico, esa eliminación o erradicación del conocimiento intuitivo posiblemente no sólo sea difícil sino imposible e inconveniente en numerosos dominios. Tal como argumentamos en los Capítulos IV y V, el conocimiento intuitivo tiene una *lógica cognitiva* que le hace insustituible. La función del currículo de ciencias no

debería ser sustituirlo, sino trascenderlo, redescribirlo en modelos más complejos. La mecánica newtoniana no es necesaria para mover eficazmente los objetos del mundo (que se lo pregunten si no a Michael Jordan o a Ronaldo). Pero tampoco se abandona cuando uno comprende los principios de la mecánica relativista o incluso cuántica. Los *principios* que rigen nuestra interacción diaria con los objetos del mundo siguen ahí presentes, pero pueden ser reinterpretados, o redescritos, en términos de los nuevos modelos aprendidos. En lugar de sustituir esos principios, en muchos casos será necesario integrarlos jerárquicamente en las teorías científicas.

En suma, parte de los problemas de este enfoque educativo basado en el cambio conceptual pueden derivarse de su concepción del cambio como sustitución. Otra parte de los problemas puede deberse a su concepción del cambio como *conceptual*. Algunos autores critican los modelos de conflicto cognitivo por su concepción reduccionista del cambio como un proceso meramente racional y conceptual, un cambio *conceptual frío* de reestructuración individual del conocimiento, en el que no se considera la intervención de otros procesos motivacionales, afectivos, sociales, etc., que serían los componentes del cambio *conceptual caliente* (PINTRICH, MARX y BOYLE, 1993). De hecho, los propios STRIKE y POSNER (1992), en su revisión del modelo, consideran necesario introducir estos elementos en el diseño de los escenarios educativos dirigidos al cambio conceptual. Desde otro punto de vista también es insuficiente la idea de que todo lo que hay que cambiar es el sistema de conceptos, dejando a un lado otros contenidos del currículo. Como sostiene GIL (1993; también DUCHSL y GITOMER, 1991) el cambio conceptual, para ser efectivo, debe acompañarse de un cambio *metodológico* y *actitudinal* paralelo. De hecho, si se entiende el cambio conceptual como un cambio de los principios y metas que rigen el conocimiento, tal como se señaló en el Capítulo IV, y no sólo como un cambio de concepciones, estamos hablando no sólo de cambiar conceptos, sino también procedimientos y actitudes. De esta forma los procesos de cambio conceptual se enmarcan en una propuesta educativa más amplia para la cual el conflicto cognitivo no es ya un motor suficiente. Se requiere otro tipo de actividades para desarrollar de modo conjunto esos cambios conceptuales, actitudinales y metodológicos. Es necesario situar al alumno en un contexto de investigación dirigida.

### **La enseñanza mediante investigación dirigida**

Más allá del cambio conceptual, los modelos de enseñanza de la ciencia mediante investigación dirigida asumen que, para lograr esos cambios profundos en la mente de los alumnos, no sólo conceptuales sino también metodológicos y actitudinales, es preciso situarles en un contexto de actividad similar al que vive un científico, pero bajo la atenta dirección del profesor que, al igual que sucedía en el enfoque de enseñanza por descubrimiento, actuaría como "director de investigaciones" (GIL, 1993). De hecho, esta propuesta recupera algunos de los supuestos que subyacían al modelo de descubrimiento anteriormente analizado -como su aceptación del paralelismo entre el aprendizaje de la ciencia y la investigación científica- pero desde nuevos planteamientos episte-

mológicos y didácticos, que se alejan de ciertas creencias inductivistas que subyacían al modelo de descubrimiento. Podríamos decir que lo que cambia de un enfoque a otro es la propia concepción de la investigación científica -que en este nuevo planteamiento se concibe como un proceso de construcción social- y con ella la forma de llevar esa investigación al aula como guía del trabajo didáctico.

### **Supuestos y metas de la educación científica**

Aunque se considera que el aprendizaje de la ciencia debe seguir, como en la enseñanza por descubrimiento, los pasos de la investigación científica, en los modelos de investigación dirigida no se asume que el componente único o esencial del trabajo científico sea la aplicación rigurosa de un método, sino que, de acuerdo con las orientaciones actuales en la propia epistemología de la ciencia, se asume que la investigación que los alumnos deben emular consiste ante todo en un laborioso proceso de construcción social de teorías y modelos, apoyado no sólo en ciertos recursos metodológicos sino también en el despliegue de actitudes que se alejan bastante de las que cotidianamente muestran los alumnos, por lo que la meta de esa investigación dirigida debe ser promover en los alumnos cambios no sólo en sus sistemas de conceptos sino también en sus procedimientos y actitudes (DUCHSL y GITOMER, 1991; GIL, 1994; GIL y CARRASCOSA, 1985; GIL y cols., 1991). Se asume por tanto, según el análisis desarrollado en el Capítulo V, la hipótesis de la *incompatibilidad* entre el conocimiento cotidiano y el científico, no sólo en sus sistemas de conceptos, sino también en sus métodos y en sus valores. Al mismo tiempo, a diferencia de las estrategias de enseñanza basadas en el descubrimiento, se adopta una clara posición *constructivista*, al considerar que los modelos y teorías elaborados por la ciencia, pero también sus métodos y sus valores, son producto de una construcción social, y que por tanto, para lograrlos en el aula, es necesario situar al alumno en contextos sociales de construcción del conocimiento similares a los que vive un científico. Dado que la investigación científica se basa en la generación y resolución de problemas teóricos y prácticos, la propia enseñanza de la ciencia deberá organizarse también en torno a la resolución de problemas.

### **Criterios para seleccionar y organizar los contenidos**

El eje sobre el que se articula el currículo de ciencias es la resolución de problemas generados desde el análisis del conocimiento disciplinar. Dado que la investigación científica se realiza siempre en el marco de disciplinas específicas, que delimitan el tipo de problemas relevantes, otro tanto debe suceder con la enseñanza de la ciencia, que debe basarse en problemas generados desde el conocimiento disciplinar (GIL, 1994). Por tanto la selección de contenidos, aunque tenga en cuenta las características de los alumnos y el contexto social del currículo, se apoya una vez más en los contenidos conceptuales de la cien-

cia. En algunas de las propuestas, sin embargo, el currículo se organiza no tanto en torno a los conceptos específicos de la ciencia sino a ciertas estructuras conceptuales que subyacen o dan sentido a esos conceptos, como la "búsqueda de regularidades y la atención al cambio" como hilo conductor del análisis de las relaciones en diversos dominios de la ciencia (los seres vivos, las sustancias, los movimientos de los astros, etc.) (GIL y cols., 1991). Este hilo, conductor que actuaría como un eje estructurador del currículo (DEL CARMEN, 1996), se traduce en una secuencia de contenidos disciplinarmente organizados, y en cuya estructuración desempeña un papel importante la propia historia de la ciencia, ya que se asume que el aprendizaje de esos contenidos por los alumnos debe ser isomórfico al propio proceso de construcción científica de esos contenidos (GIL y cols., 1991).

### Actividades de enseñanza y evaluación

El desarrollo de esa secuencia de contenidos se apoyará en el planteamiento y resolución conjunta de problemas por parte del profesor y de los alumnos. Estos problemas deben consistir en situaciones abiertas, que exijan la búsqueda de nuevas respuestas por parte de los alumnos bajo la supervisión del profesor, y se corresponderán por tanto, dentro de la resolución de problemas con la realización de pequeñas investigaciones (véase el Capítulo III; también POZO y GÓMEZ CRESPO, 1994) que en lo posible integren tanto aspectos cualitativos como cuantitativos. La labor del profesor será no sólo orientar la investigación de los alumnos, como hace el director de cualquier proyecto de investigación, sino también reforzar, matizar o cuestionar las conclusiones obtenidas por los alumnos a la luz de las aportaciones hechas previamente por los científicos en la resolución de esos mismos problemas. El desarrollo de esta propuesta didáctica se concreta en un programa-guía de actividades de enseñanza, que de modo aproximado, se basaría en los siguientes pasos (RAMÍREZ, GIL y MARTÍNEZ TORREGROSA, 1994):

- 1) Despertar el interés de los alumnos por el problema que va a abordarse, previamente seleccionado por el profesor/director de investigación.
- 2) Realizar un estudio cualitativo de la situación, intentando definir de la manera más precisa el problema, identificando las variables más relevantes que lo restringen, etc.
- 3) Emitir hipótesis sobre los factores que pueden estar determinando el posible resultado del problema y sobre la forma en que éstos factores condicionan el mismo.
- 4) Elaborar y explicitar posibles estrategias de solución del problema, planificando su puesta en marcha en lugar de actuar por ensayo y error. Buscar vías alternativas para la resolución del problema.
- 5) Poner en marcha la estrategia o estrategias seleccionadas, explicitando y fundamentando al máximo lo que se va haciendo.
- 6) Analizar los resultados obtenidos a la luz de las hipótesis previamente explicitadas



- 7) Reflexionar sobre las nuevas perspectivas abiertas por la resolución realizada, replanteando o redefiniendo el problema en un nuevo nivel de análisis, en relación con otros contenidos teóricos o en nuevas situaciones prácticas. Idear nuevas situaciones o problemas que merezcan ser investigados a partir del proceso realizado.
- 8) Elaborar una memoria final en la que se analicen no sólo los resultados obtenidos en relación al problema planteado sino también el propio proceso de resolución llevado a cabo.

Como puede verse, esta secuencia didáctica no es tampoco muy diferente de la que se seguía en el enfoque de descubrimiento, ya que de hecho se apoya en los pasos habituales en los modelos de resolución de problemas o de pensamiento científico (desarrollados con mayor detalle en el Capítulo III). Lo que cambia con respecto al enfoque anterior es el espíritu con el que se dan esos pasos, o si se prefiere su sentido didáctico, ya que en esta concepción se resalta el carácter *socia/* del proceso de resolución, fomentando la comunicación y el diálogo no sólo entre los alumnos sino también entre éstos y el profesor, lo cual ayudará sin duda a la explicitación de procedimientos, actitudes y conceptos tan relevante en este modelo.

Estas actividades de enseñanza se conciben en sí mismas como actividades de evaluación, ya que en este modelo se asume una concepción *constructiva* de la evaluación, en la que la evaluación debe ser un instrumento más al servicio del aprendizaje y no tanto un criterio de selección (GIL y cols., 1991). La evaluación se basará en gran medida en el trabajo diario de los alumnos, en su investigación, aunque pueda completarse con otro tipo de tareas más puntuales. Es importante que las actividades de evaluación retroalimenten al alumno, le proporcionen información no de su éxito o fracaso sino, sobre todo, de las causas de ese éxito o fracaso (DUCHSL, 1998). Ello implica un profundo replanteamiento de la finalidad de la evaluación en la mentalidad de la mayor parte de los profesores, un verdadero cambio conceptual sobre su función didáctica, que suele plantear dificultades aún mayores que el propio cambio en las actividades de aprendizaje/enseñanza y que sin duda constituye una de las principales dificultades en la puesta en marcha de este modelo (ALONSO, GIL y MARTÍNEZ TORREGROSA, 1995).

### **Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles**

Uno de los problemas más importantes que suele plantear este enfoque de la educación científica es sin duda su alto nivel de exigencia al profesorado, lo que hace difícil su generalización. Enseñar la ciencia como un proceso de investigación dirigida requiere una determinada concepción de la ciencia y de su enseñanza, que no suele estar muy extendida entre los profesores (GIL y cols., 1991). Requiere un cambio radical en la forma de concebir el currículo de ciencias y sus metas, que afecta no sólo a la concepción de la ciencia, sino también a los métodos de enseñanza utilizados y a las propias actitudes que debe manifestar el profesor en clase de ciencias. En suma, exige del profesor un cambio conceptual, procedimental y actitudinal paralelo al que debe intentar

promover en sus alumnos. Y sin duda ese cambio en las teorías implícitas de aprendizaje y enseñanza de los profesores está sujeto a problemas similares a los que plantea el cambio conceptual en los propios alumnos (Pozo y cols., 1998), con riesgo de que los aspectos novedosos de este enfoque queden diluidos o deformados si se pone en práctica desde un *espíritu* distinto, que conlleve un sentido didáctico muy diferente. Aunque éste no es un impedimento para la adopción de este enfoque de la educación científica, sin duda, al alejarse de los supuestos en que se apoya la tradición dominante en la educación científica, requiere un esfuerzo adicional de cambio por parte de los profesores que, si bien resulta necesario para afrontar las nuevas demandas de aprendizaje reseñadas en el Capítulo Primero, no suele verse favorecido por las propias estructuras organizativas de los centros y la tradición educativa en que éstos están inmersos.

Pero además de esta dificultad que deben afrontar todos los enfoques que adopten posiciones realmente constructivistas, y cuya superación requiere la puesta en marcha de modelos de formación permanente del profesorado coherentes con esta misma concepción educativa, hay otro problema intrínseco al modelo de enseñanza mediante investigación dirigida. Aunque se aleje de los supuestos inductivistas en que se basaba la enseñanza por descubrimiento, la asunción del isomorfismo entre investigación y aprendizaje de la ciencia no deja de plantear dificultades conceptuales y prácticas. Aunque ese isomorfismo se adopte en un sentido débil, como un cierto paralelismo más que como una identidad (GIL y cols., 1991), es dudoso que los propios procesos constructivos en el aprendizaje de los contenidos científicos deban ser similares a los que usan los científicos para elaborar o construir esos mismos contenidos. Y ello no tanto por razones psicológicas, que podría haberlas sin duda (Pozo, 1997a), como sobre todo por las diferencias entre los contextos sociales en que alumnos y científicos construyen sus conocimientos. Si aceptamos, como parece hacerse desde este enfoque, el supuesto de que la construcción de conocimiento se define en el marco de unas interacciones sociales, está *situada en un contexto social* (KIRSHNER y WHISTON, 1997) que define sus metas, parece bastante dudoso que los alumnos puedan poner en marcha procesos de construcción de conocimiento que compartan las metas y los contextos sociales (de descubrimiento pero también de justificación) propios del trabajo científico. Para empezar, los científicos tienden a ser personas expertas en un dominio restringido de conocimiento al que dedican, como todo experto, una gran cantidad de horas de trabajo, cuyo contenido y orientación está en buena medida determinado por su propia comunidad de práctica científica. En cambio los alumnos se ven obligados a distribuir su pericia y su esfuerzo por las cada vez más abundantes materias y asignaturas que deben estudiar, sin que estén en condiciones de adoptar ni de interiorizar las reglas y las metas que definen cada una de esas comunidades de práctica (la de los físicos, los filólogos, los matemáticos, los geógrafos, los deportistas, etc.). No todo lo que hace un científico tiene sentido para los alumnos, y viceversa, ya que los mundos en los que viven -y que tan activamente ayudan a construir- son muy diferentes e incluso están regidos por metas distintas; hasta la definición de un problema puede no ser la misma para unos y otros. Los problemas de los científicos con frecuencia no son verdaderos problemas para los alumnos. De hecho más allá de los problemas

científicos y de los problemas cotidianos que unos y otros afrontan parece necesario definir un ámbito específico, intermedio, para los problemas educativos (POZO y GÓMEZ CRESPO, 1994), un escenario propio de la actividad didáctica no reducible ni al conocimiento científico ni al cotidiano (RODRIGO, 1997; GARCÍA, 1995).

Los alumnos, al menos hasta la educación secundaria, difícilmente podrán actuar como pequeños científicos, historiadores, lingüistas, etc. De hecho sus propios profesores limitan su definición *profesional* a su ámbito de pericia y en el resto de los dominios se comportan como verdaderos novatos (POZO, 1987). Aunque un acercamiento a la investigación científica debe ser sin duda un objetivo de la educación secundaria, basar todo el aprendizaje de la ciencia en su capacidad de investigar supone en parte olvidar la propia especificidad de los escenarios educativos. La enseñanza no puede apoyarse sólo en actividades de investigación ya que debe lograr resultados más rápidos y generalizados de los que la propia investigación científica -aplicada en contextos más ricos y por la elite especializada de los científicos- ha logrado. El riesgo de convertir la enseñanza en investigación *condensada* es confundir una vez más los procesos de investigación con los métodos de enseñanza y el aprendizaje de procedimientos (POZO, POSTIGO y GÓMEZ CRESPO, 1995; WELLINGTON, 1989).

Además, la propia labor de director de *investigaciones* es más simulada, y por tanto ambigua, que real. El director de un proyecto de investigación ignora con frecuencia a donde se dirige su proyecto, en qué aguas va a navegar. Podríamos decir, utilizando la terminología vygotskiana, que una investigación real sirve para abrir nuevas zonas de exploración, abre nuevos caminos; en cambio el uso didáctico de la investigación debe abrir nuevas zonas, nuevos territorios a los alumnos, pero debe producirse en terreno conocido para el profesor, que debe saber a donde debe llevar esa investigación, evitando que se desvíe de sus metas. En ese sentido, esas supuestas investigaciones deben constituir problemas abiertos para los alumnos, pero bastante más cerrados para los profesores. Sólo cuando el profesor domina en profundidad el terreno que pisa o, siguiendo con la metáfora, las aguas por las que navega, puede ayudar a los alumnos a avanzar y extender sus dominios de conocimiento. De hecho, una enseñanza de este tipo es muy exigente para los profesores no sólo desde el punto de vista pedagógico, ya que, al igual que sucedía con la enseñanza por descubrimiento, les exige desarrollar un papel bastante más ambiguo, sino también como hemos señalado antes, desde el punto de vista de los conocimientos disciplinares. Sólo si el profesor se siente seguro en sus conocimientos disciplinares, sólo si navega por aguas conocidas, se atreverá a navegar. El profesor no puede ser un miembro más del "equipo de investigación", ni tan siquiera el investigador principal, ya que si quiere ayudar a los alumnos a llegar a buen puerto investigando, debe saber, desde el principio, a donde debe dirigir la nave. Debe conocer qué modelos e interpretaciones deben poner en marcha los alumnos, qué preguntas son más productivas y cuáles más baldías, pero también qué modelos, preguntas y reformulaciones difícilmente harán los alumnos y sin embargo es necesario que conozcan para enriquecer, o redefinir, sus investigaciones. Esa es la propuesta del último enfoque que queremos analizar, que en cierto modo es complementario de la enseñanza mediante investigación, basado en la contrastación de modelos.

## **La enseñanza por explicación y contrastación de modelos**

Frente a la asunción de que el aprendizaje de la ciencia debe recorrer los mismos pasos que la investigación científica y que el alumno debe emular la actividad de los científicos para acercarse a sus resultados, desde este enfoque se asume que la educación científica constituye un escenario de adquisición del conocimiento completamente diferente a la investigación y por tanto se dirige a metas distintas y requiere actividades de enseñanza y evaluación diferentes. El alumno no puede enfrentarse a los mismos problemas que en su día intentaron resolver los científicos, ya que los abordará en un contexto diferente, en el que entre otras cosas, dispondrá como elemento de reflexión y de redesccripción representacional de los modelos y teorías elaborados por esos mismos científicos. Tampoco el profesor puede equipararse a un director de investigaciones, ya que su función social es muy diferente a la de un científico, pues no tiene que producir conocimientos nuevos ni afrontar problemas nuevos sino ayudar a sus alumnos a *reconstruir* el conocimiento científico.

Si NEWTON decía que sus descubrimientos fueron posibles porque actuaba "subido a hombros de gigantes" en alusión a todas las aportaciones de los científicos que le precedieron, la función social del profesor es ayudar a sus alumnos a subirse a los hombros de esos mismos gigantes, asimilando y reconstruyendo, a nivel social e individual, el acervo de la cultura científica. Para ello el profesor debe exponer a sus alumnos diversos modelos alternativos que deben contrastar con el fin de comprender las diferencias conceptuales que hay entre ellos y, de esta forma, ser capaces de relacionarlos e integrarlos metacognitivamente. El alumno no tiene por qué seguir los pasos que siguieron los científicos, ni llegar al conocimiento por la misma vía en que en su día se elaboró, sino que debe reconstruir e integrar los valores, los métodos y los sistemas conceptuales producidos por la ciencia con la ayuda pedagógica de su profesor que debe, mediante sus explicaciones, hacer comprensibles y contrastables esos conocimientos.

## **Supuestos y metas de la educación científica**

Como en el caso anterior, desde este enfoque se asume una posición claramente constructivista con respecto al aprendizaje de la ciencia, si bien, como acabamos de ver, no se acepta necesariamente el isomorfismo entre la construcción del conocimiento científico y su aprendizaje por parte de los alumnos. La construcción del conocimiento científico y escolar implica escenarios sociales claramente diferenciados por sus metas y la organización de sus actividades (RODRIGO y ARNAY, 1997).

Por otra parte, la idea de que el aprendizaje de la ciencia implica una continua contrastación entre modelos, más que la *superación empírica* de un modelo por otro (POZO, 1994), se acerca más a la hipótesis de la *independencia* entre esos diversos modelos o a su *integración jerárquica* que al supuesto de la sustitución de unos por otros. Mientras que algunos defensores de este enfoque adoptan los supuestos de la *cognición situada* (CARAVITA y HALLDÉN, 1994;

KIRSHNER y WHISTON 1997) y con ellos la hipótesis de la independencia contextual entre diversas formas de conocimiento, otros asumen la posibilidad de integrar jerárquicamente unas formas de conocimiento en otras, tal como aquí hemos defendido (ver Capítulo V).

En cualquiera de los casos, desde este enfoque se asume que la meta de la educación científica debe ser que el alumno conozca la existencia de diversos modelos alternativos en la interpretación y comprensión de la naturaleza y que la exposición y contrastación de esos modelos le ayudará no sólo a comprender mejor los fenómenos estudiados sino sobre todo la naturaleza del conocimiento científico elaborado para interpretarlos. La educación científica debe ayudar al alumno a construir sus propios modelos, pero también a interrogarlos y redescubrirlos a partir de los elaborados por otros, ya sean sus propios compañeros o científicos eminentes (GLYNN y DUIT, 1995b; OGBORN y cols., 1996).

### **Criterios para seleccionar y organizar los contenidos**

El núcleo organizador de este enfoque didáctico son los modelos, es decir la forma en que se representa el conocimiento existente en un dominio dado. En este sentido, a diferencia del enfoque anterior hay un interés explícito por los contenidos conceptuales, pero éstos se organizarían no tanto a partir de los contenidos conceptuales específicos (densidad, calor, movimiento, etc.) como de las estructuras conceptuales o modelos que dan sentido a esos conceptos (por ejemplo, en el análisis desarrollado en capítulos precedentes, interacción, conservación, etc.). Se trata de profundizar y enriquecer los modelos elaborados por los alumnos, que deben ir integrando no sólo cada vez más información sino también otros modelos y perspectivas. Asimismo se trata de que el alumno pueda interpretar las diferencias y similitudes entre diferentes modelos. De esta forma, por ejemplo, las estructuras conceptuales descritas en el Capítulo IV, y ejemplificadas en el aprendizaje de la química y la física en los Capítulos VI y VII, pueden actuar como criterio estructurador del currículo, dirigiendo el proceso de construcción de los modelos elaborados por los alumnos, que deben ir integrando esos rasgos estructurales (interacción, equilibrio, conservación). Sin embargo si ésta es la meta y la estructura implícita del currículo, posiblemente no debe constituir su estructura o discurso explícito. En este sentido, es importante no confundir la meta del currículo con su *método* (Pozo, en prensa a). La manera de acceder a esas estructuras subyacentes, o implícitas, al entramado conceptual de los alumnos es a través de los contenidos conceptuales más convencionales, por ejemplo los conceptos específicos de la física y la química que hemos analizado en capítulos precedentes, que sin embargo no deberían concebirse como un fin en sí mismos sino como un medio para acceder a construir esas estructuras conceptuales que son las que dan sentido a esos conceptos, que constituirían los objetivos a corto plazo, las metas intermedias, para acceder a otras metas más profundas y generales.

## Actividades de enseñanza y evaluación

Frente a la homogeneidad de algunos de los enfoques precedentes, las propuestas basadas en la enseñanza mediante modelos son más bien heterogéneas e irían desde el entrenamiento directo en los modelos y estructuras conceptuales (por ej., interacción) para su aplicación posterior a diferentes contenidos específicos (energía, calor, etc.) (CHI, 1992; Pozo, 1994), al enriquecimiento de los modelos elaborados por los propios alumnos a partir de las discusiones con sus compañeros, las explicaciones del profesor y las evaluaciones recibidas (ARCÁ y GUIDONI, 1989), la presentación y contrastación de los modelos en el contexto de la solución de problemas (Pozo y GÓMEZ CRESPO, 1994), o la explicación de esos modelos por parte del profesor y su discusión con los alumnos (OGBORN y cols., 1996). De hecho, GLYNN y DUIT (1995b) acaban por elaborar una propuesta lo suficientemente amplia como para integrar los más diferentes tipos de actividades de aprendizaje y enseñanza, que se declara explícitamente heredera de todos los enfoques antes mencionados (descubrimiento, exposición ausubeliana, conflicto cognitivo, etc.). Aunque esta amplitud metodológica no debe confundirse nunca con un eclecticismo metodológico (una cierta sensación de que en el aula “todo vale”) es consistente con la propia idea integradora de la que se nutre, no sólo desde el punto de vista conceptual sino también metodológico.

Huyendo de ambos extremos (el del “método didáctico” único y omnipotente que guía todas las actividades de enseñanza; y el del relativismo vacío según el cual todo vale), se trata de asumir la complejidad y diversidad de las situaciones didácticas que no permiten establecer secuencias de aprendizaje únicas *urbi et orbi*. Sin embargo hay una cierta lógica interna a las actividades de enseñanza que rigen o guían este modelo, que queda ilustrada en el ejemplo presentado en la Tabla 8.4. Como puede verse, es preciso partir de que los alumnos se enfrenten, como en el modelo anterior, a problemas que despierten en ellos la necesidad de encontrar respuestas, que deben ser modeladas, explicitadas, pero también enriquecidas mediante la multiplicación de modelos alternativos. El profesor debe ejercer en diferentes momentos de la actividad didáctica papeles diversos, algunos de los cuales han ido apareciendo al analizar los enfoques anteriores: debe guiar las indagaciones del alumno, pero también de exponer alternativas, inducir o generar contrargumentos, promover la explicitación de los conocimientos, su redescrición en lenguajes o códigos más elaborados, etc.

Entre estos papeles que debe ejercer el profesor se recupera, como una de sus tareas más relevantes y complejas, la necesidad de explicar a sus alumnos esos diversos modelos alternativos (OGBORN y cols., 1996), pero desde estas posiciones la explicación no sería ya un monólogo, un discurso unívoco por parte del profesor, sino un diálogo (MORTIMER y MACHADO, 1997, 1998), una conversación más o menos encubierta (SÁNCHEZ, 1998a, 1998b), en la que el profesor crea diversos escenarios explicativos para hacer dialogar a los diversos modelos e interpretaciones posibles de los fenómenos estudiados, contrastándolos entre sí y redescubriendo unos en otros, es decir haciendo que se expliquen mutuamente con el fin de integrar unas explicaciones en otras. Esos diálo-

**Tabla 8.4.** Un ejemplo de cómo puede trabajarse la caída de los cuerpos en el aula mediante la explicación y contrastación de modelos

### LA CAÍDA LIBRE DE LOS CUERPOS

De forma intuitiva, todos nosotros, y no sólo los alumnos, tendemos a creer que, si comparamos la caída de dos cuerpos con masas diferentes, aunque se suelten a la vez, siempre llegará antes al suelo el objeto más pesado. Una propuesta de cómo puede trabajarse esta idea con alumnos de Educación Secundaria sería la siguiente:

#### 1. Activación y evaluación de los conocimientos previos

Se trata de seleccionar una o varias tareas que sean relevantes para los alumnos y que sirvan para sacar a la luz esas ideas implícitas. Por ejemplo:

*“Si dejamos caer dos piedras desde una misma altura, una grande y otra pequeña, ¿cuál crees que llegará antes al suelo?”*

Pueden obtenerse respuestas en términos: “porque sí”, “porque es más pesada”, etc. Pero el debate entre los alumnos lleva a que poco a poco vayan haciendo explícitas sus teorías. Se trata de promover una reflexión sobre el propio conocimiento, que se continúe y profundiza cuando ese conocimiento se contrasta con el de los compañeros y con algunos datos relevantes que puedan recogerse sobre el fenómeno estudiado.

#### 2. Contrastación de modelos y puntos de vista

Una vez que el debate ha facilitado la explicitación de varios puntos de vista alternativos, el profesor puede inducir la realización de una experiencia que permita comprobar que ocurre en la práctica. La caída de los cuerpos puede dar lugar a experiencias sencillas que los alumnos pueden realizar fuera del aula, a ser posible en “pequeños grupos de investigación”, de forma consciente y planificada: qué se ha hecho, por qué se ha hecho y cuáles son los resultados obtenidos. Suelen obtenerse resultados contradictorios dependiendo del material utilizado. Por ejemplo:

- “Cuando lo hicimos con una pelota de tenis vacía y otra llena de tierra, llegó antes la rellena”.
- “Con una goma de borrar y un libro, llegó antes la goma”.
- “Cuando comparamos, un papel y un lápiz, llegó antes el lápiz”.
- “El papel y el lápiz llegan a la vez”. El papel se había comprimido formando una bola.
- “El libro llega a la vez que la goma de borrar si se deja caer de canto”.

El profesor deberá retornar esos resultados a modo de contraejemplos para la discusión en gran grupo. En caso de que no hayan surgido en la experiencia realizada, podrá incluso proponerlos él.

#### 3. Introducción de nuevos modelos

Probablemente la discusión en gran grupo de los resultados obtenidos en cada una de esas investigaciones genere nuevas concepciones que superen las que inicialmente, de modo implícito, tenían los alumnos. Pero puede también que esto no suceda. En ese caso, dependiendo de los objetivos fijados inicialmente, puede que sea necesaria una exposición de la teoría científica por parte del profesor.

#### 4 Integración de modelos

*¿Cómo es posible que en muchos de los resultados obtenidos, aparentemente, las predicciones de la teoría científica no se cumplan?* Los alumnos son capaces de llegar a distintas conclusiones, comparando sus resultados a partir del efecto de las variables que intervienen en la situación real (forma del objeto, rozamiento del aire, densidad, etc.) frente a la predicción de la ciencia para los casos ideales. Evidentemente, el nivel de análisis al que se llegue dependerá del nivel educativo y de los objetivos concretos que se hayan marcado.

gos o explicaciones mutuas entre modelos pueden adoptar, según OGBORN y cok. (1996), diferentes formatos:

- a) “Vamos a pensarlo juntos”: el profesor **redescribe** las ideas generadas por los propios alumnos, intentando explicitarlas y conectarlas con los modelos científicos
- b) “El narrador de cuentos”: el profesor convierte la explicación en una narración, un relato, en el que integra los diferentes argumentos explicativos
- c) “Dilo a mi manera”: los alumnos deben **redescribir** sus propias ideas e interpretaciones, reinterpretarlas, en términos de otro modelo, idealmente suministrado por el profesor, utilizando con precisión el lenguaje y los códigos explicativos de ese modelo
- d) “Míralo a mi manera”: los alumnos deben partir de una teoría o modelo determinado para interpretar los problemas o fenómenos estudiados, deben intentar ponerse en el punto de vista de otro, preferiblemente un modelo científico, pero también la concepción alternativa de un compañero, para comprender las diferencias entre distintas perspectivas.

Esta multiplicación e integración de modelos debe reflejarse no sólo en las actividades de aprendizaje sino también en la evaluación, donde con frecuencia los alumnos suelen percibir que esas múltiples voces acaban por reducirse a una: la del profesor y el saber establecido. Es importante que el **perspectivismo conceptual**, necesario para el aprendizaje de la ciencia esté presente también en los criterios de evaluación. Se trata no tanto de exigir del alumno que se acerque a un modelo “correcto” previamente establecido, sino de promover la reflexión, el **metaconocimiento conceptual** y el **contraste de modelos**. Se trataría de utilizar tareas y criterios de evaluación que fomenten en los alumnos la capacidad de explicitar, **redescribir** y argumentar sobre sus modelos y los de los demás. Siguiendo a KUHN (1991), entre esos criterios estarían:

- a) la capacidad de definir o explicitar varias teorías alternativas para una situación, utilizando con precisión el lenguaje de cada una de ellas y discriminando entre sus diferentes interpretaciones
- b) la capacidad de buscar argumentos en contra de una teoría (incluida la propia)
- c) la capacidad de explicar una teoría diferente a aquella en la que uno cree, diferenciando entre conocimiento y creencia (RODRIGO, 1993),
- d) la capacidad de buscar datos a favor de diferentes modelos y teorías.
- e) y, por último, la capacidad de integrar o relacionar metacognitivamente diferentes explicaciones.

Más allá de aprender una teoría como verdadera, se trata de que el alumno comprenda lo que de verdadero hay en diversos modelos o teorías. Por ejemplo, no se trata de que aprenda un modelo de átomo como la teoría científicamente aceptada sino de enfrentarle a diferentes modelos de átomo con el fin de que comprenda sus diferencias, pero también sus relaciones y la propia evolución del conocimiento científico, que hace que esos distintos modelos tengan contextos de uso diferentes (MORTIMER, 1995, 1998). Uno de los riesgos de esta



multiplicación de representaciones es que los alumnos acaben por interpretarla más bien como una división de opiniones, en la que todas las interpretaciones (incluida la suya espontánea) son igualmente válidas. Aunque ese riesgo es mayor si se asume la hipótesis de la independencia entre representaciones que si se adopta el supuesto de la integración jerárquica, es sin duda uno de los problemas que aqueja a esta forma de entender la enseñanza de la ciencia.

### **Dificultades de aprendizaje y enseñanza previsibles**

Algunas de las dificultades que cabe esperar de la puesta en marcha de esta forma de enseñanza son similares a las que señalábamos al analizar la enseñanza por investigación dirigida, ya que se derivan de las exigencias que las concepciones constructivistas subyacentes plantean a los profesores. Pero la enseñanza mediante modelos genera también problemas propios, uno de los cuales, como acabamos de señalar es inducir en los alumnos un cierto relativismo o escepticismo con respecto a toda forma de conocimiento, que vacíe de sentido la propia educación científica. Si todos los modelos o teorías valen ¿para qué estudiar los modelos científicos? Desde nuestro punto de vista, que ya expusimos en el Capítulo V al criticar la hipótesis de la independencia en favor de la integración jerárquica entre teorías, para evitar este relativismo es necesario enseñar a los alumnos a explicar o redescubrir unas teorías en otras, ya que de esta forma comprenderán cómo los modelos más complejos pueden integrar a los más simples, pero no a la inversa. El eclecticismo teórico es un riesgo real cuando la diferenciación entre las diversas teorías se apoya en su contexto situacional, en una identificación de vía baja, *low road*, de los contextos en que cada una debe utilizarse. En cambio esa diferenciación podrá conducir a una integración jerárquica de los distintos modelos si se apoya en el contexto metacognitivo, que implica una comprensión de vía alta, *high road*, de las semejanzas y diferencias conceptuales entre los diversos modelos, que permita redescubrir unos en otros e identificar aquellos que tienen una mayor capacidad de generalización, mayor poder argumentativo o explicativo y estructuras conceptuales más complejas e integradoras. Ello requerirá la utilización de procesos de reestructuración teórica, explicitación metacognitiva e integración jerárquica como los descritos en el Capítulo V.

Otro problema que suscita este enfoque es la posible generalidad o transferencia relativa de los modelos aprendidos a nuevos dominios o conceptos. Esta posible generalización de estructuras conceptuales a nuevos dominios es limitada e insuficiente si no se acompaña de conocimiento conceptual en ese dominio. La instrucción a través de modelos probablemente requerirá que esos modelos o estructuras conceptuales más generales se adquieran en los dominios específicos, con un contenido conceptual específico, de forma que luego puedan ser transferidas o generalizadas a nuevos dominios (CECI y NIGHTINGALE, 1990). El hecho de que el currículo se organice a partir de ciertas estructuras conceptuales subyacentes no debe implicar que éstas constituyan el contenido básico del currículo, sino que éste debe presentarse a partir de contenidos específicos que sirvan para contrastar diversos modelos y estructuras concep-

tuales, tal como hemos intentado mostrar en la Segunda Parte de este libro, al analizar las relaciones entre esas estructuras conceptuales y los contenidos conceptuales específicos de la física y la química.

Hay otro problema que plantea la enseñanza de la ciencia como explicación y contrastación de modelos, y es que una vez más parece restringir la instrucción científica al ámbito del conocimiento conceptual, relegando a un segundo plano los contenidos procedimentales y actitudinales. Aunque el uso y contrastación de diversos modelos conceptuales implica no sólo un dominio conceptual de los mismos sino también actitudes (relativismo, rigor, etc.) y procedimientos específicos (de argumentación, contrastación empírica, etc.), es cierto que este enfoque educativo está más centrado en la construcción de modelos conceptuales. Por ello, desde este enfoque será preciso destacar la importancia de los procedimientos necesarios para realizar esa construcción, tanto los específicamente relacionados con hacer ciencia como aquellos otros, de carácter más general, necesarios para aprender ciencia.

Para ello, como proponen GLYNN y DUIT (1995a), es preciso que en este enfoque se integren algunas aportaciones desarrolladas desde otras posiciones anteriores, que resultan compatibles con él. De hecho una buena manera de concluir este libro puede ser intentar una última integración jerárquica, la de los múltiples papeles y métodos que debe desplegar un profesor para ayudar a sus alumnos a aprender ciencia, a través del contraste entre las exigencias de estos diversos enfoques de educación científica que hemos venido planteando.

### ***La integración de estos diferentes enfoques o los múltiples papeles del profesor***

En las páginas precedentes de este capítulo hemos intentado resumir, y al mismo tiempo ordenar, los diversos enfoques o aproximaciones a la enseñanza de la ciencia que se han intentado tanto en las aulas como en los laboratorios de investigación didáctica. Además de proporcionarnos una visión de cada uno de ellos, esta exposición, como no podía ser menos en un libro como éste, tiene como meta ayudar a una integración o comprensión mutua de los diferentes casos. Así, si analizamos la Tabla 8.5., que sirve como resumen de todo este capítulo, ya que sintetiza los rasgos principales de los enfoques desarrollados en páginas precedentes, observamos que al mismo tiempo que hay una aceptación creciente de los supuestos y metas constructivistas, también se observa una pauta más vacilante en su evolución, un continuo ir y venir de propuestas de enseñanza expositiva y propuestas de enseñanza por investigación o descubrimiento.

Los supuestos y metas del currículo han evolucionado desde la compatibilidad y un cierto realismo más o menos interpretativo, (según el cual aprender es adquirir un conocimiento verdadero, ya sea por exposición o por descubrimiento), hacia posiciones más próximas al constructivismo. También ha evolucionado la forma de concebir las relaciones entre el conocimiento cotidiano y el científico, desde la compatibilidad inicial hacia la incompatibilidad, y más recientemente hacia modelos más complejos, basados en la independencia contex-

**Tabla 8.5. Rasgos principales de cada uno de los enfoques de enseñanza de la ciencia analizados en este capítulo**

	<b>Supuestos</b>	<b>Criterios de secuenciación</b>	<b>Actividades de enseñanza</b>	<b>Papel del profesor</b>	<b>Papel del alumno</b>
<b>TRADICIONAL</b>	Compatibilidad Realismo interpretativo	La lógica de la disciplina como un conjunto de hechos	Transmisión verbal	Proporciona conocimientos verbales	Recibe los conocimientos y los reproduce
<b>DESCUBRIMIENTO</b>	Compatibilidad Realismo interpretativo	La metodología científica como lógica de la disciplina	Investigación y descubrimiento	Dirige la investigación	Investiga y busca sus propias respuestas
<b>EXPOSITIVA</b>	Compatibilidad Constructivismo (?)	La lógica de la disciplina como sistema conceptual	Enseñanza por exposición	Proporciona conocimientos verbales	Recibe los conocimientos y los asimila
<b>CONFLICTO COGNITIVO</b>	Incompatibilidad Constructivismo	Los conocimientos previos y la lógica de la disciplina	Activación y cambio de conocimientos previos	Plantea los conflictos y guía su solución	Activa sus conocimientos y construye otros nuevos
<b>INVESTIGACIÓN</b>	Incompatibilidad Constructivismo	La lógica de la disciplina como solución de problemas	Enseñanza mediante resolución guiada de problemas	Plantea los problemas y dirige su solución	Construye su conocimiento mediante la investigación
<b>MODELOS</b>	Independencia o integración jerárquica Constructivismo	Los contenidos disciplinares como medio para acceder a las estructuras conceptuales y modelos	Enseñanza mediante explicación y contrastación de modelos	Proporciona conocimientos, explica y guía la contrastación de modelos	Diferencia e integra los distintos tipos de conocimientos y modelos

tual o la integración jerárquica entre ambas formas de conocimiento. En cambio, si analizamos la Tabla 8.5, las actividades de enseñanza y aprendizaje, y con ellas la labor de profesores y alumnos, muestran una evolución menos clara. Más bien se observa un vaivén entre los enfoques expositivos, aparentemente centrados más en la labor del profesor (enseñanza tradicional, expositiva), y los enfoques centrados en la labor de investigación y descubrimiento por parte de los alumnos (enseñanza por descubrimiento y por investigación dirigida). Lo cierto es que ambas formas de entender la enseñanza no deben ser incompatibles. De hecho, lo ideal sería integrar ambas aproximaciones didácticas en enfoques que se centren tanto en el profesor como en los alumnos, tal como vienen a proponer tanto la enseñanza mediante conflicto cognitivo como el enfoque de explicación y contrastación de modelos.

Sin embargo, estas posiciones integradoras requieren de los profesores desarrollar labores bien diferentes (proveedor de información, modelo, entrenador, director de investigaciones, tutor,..., además de educador en valores y otros papeles aún por inventar). Por si fuera poco, muchos de estos papeles hay que hacerlos a la vez, por lo que resultan difíciles de compaginar en esta nueva y extraña forma de *pluriempleo* simultáneo que aqueja a la profesión docente (Pozo, 1996a). Pero ése es un signo de los tiempos de la labor docente, que al complicar el propio concepto de contenido, multiplicando sus diferentes naturalezas (actitudes, procedimientos y conceptos), y diversificar también los contextos y metas educativos, se hace cada día más compleja y polifacética. Actualmente los profesores debemos ejercer, como los cómicos ambulantes, varios papeles distintos en el escenario educativo, en función del tipo de contenido que estemos trabajando y las metas que nos fijemos para ese contenido y los alumnos concretos que tenemos. Algunos de esos papeles vienen recogidos en la tabla anterior. Mientras que las concepciones educativas más tradicionales requerían también un papel más monolítico, o monótono, como el de proveedor o suministrador de conocimientos en la enseñanza tradicional, o el de director de investigaciones en la enseñanza por descubrimiento, los enfoques más recientes, atendiendo a esa complejidad, requieren de nosotros un ejercicio casi transformista, de continuo cambio de actividades didácticas y consiguientemente de labores docentes. Una vez más, para que esa multiplicación no se traduzca en confusión, se requiere una integración jerárquica, que, a través de la reflexión y la contrastación de modelos, en este caso didácticos, permita a los profesores asumir aquel papel o papeles más acordes con su propia concepción de la educación. Aunque estamos convencidos de que algunas de estas formas de concebir la enseñanza de la ciencia están más cerca de dar respuesta a esas nuevas necesidades educativas que cada día se manifiestan en las aulas, a las que nos referíamos en las primeras páginas de este libro, finalmente en un currículo verdaderamente constructivista debe ser cada profesor, o mejor aún cada equipo de profesores, quien fije sus propias metas, quien decida sus criterios para seleccionar y organizar los contenidos en el currículo y quien seleccione las actividades de enseñanza y de evaluación con las que llevarlo a cabo. La probabilidad de éxito será mayor cuando las decisiones sobre cada uno de estos aspectos se apoyen mutuamente y a su vez sean coherentes con los supuestos de ese profesor o grupo

de profesores sobre la naturaleza del conocimiento científico y su aprendizaje, a cuya explicitación, reestructuración e integración jerárquica esperemos que al menos haya contribuido este libro, ya que, en último extremo aprender a enseñar ciencia requiere de los profesores un cambio conceptual, procedimental y actitudinal no menos complejo que el que exige a los alumnos el propio aprendizaje de la ciencia.