JUAN IGNACIO POZO MUNICIO
MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ CRESPO

Aprender y enseñar ciencia

Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico



EDICIONES MORATA, S. L.
Fundada por Javier Morata, Editor, en 1920
C/ Mejía Lequerica, 12 28004 - Madrid

CAPÍTULO PRIMERO

¿Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que se les enseña?

Una deliciosa sátira de Harold Benjamin titulada "El currículo de dientes de sable", publicada en 1939, nos hace retroceder a las primeras materias del currículo: formar a los jóvenes en el arte de capturar peces, cazar caballos lanudos a garrotazos y asustar con fuego a los tigres de dientes de sable. La cuestión era: ¿qué ocurriría con estas venerables materias cuando alguien inventara la caña de pescar, los caballos lanudos se trasladaran a terrenos más altos y fueran reemplazados por antílopes, más veloces, y los tigres se murieran y ocuparan su lugar unos cuantos osos? ¿No se les debería jubilar o sustituir por estudios más pertinentes?

> *"No seas tonto", le dijeron los sabios ancianos mostrando sus sonrisas más benévolas. "No enseñamos a capturar peces con el fin de capturar peces; lo enseñamos para desarrollar una agilidad general que nunca se podrá obtener con una mera instrucción. No enseñamos a cazar caballos a garrotazos para cazar caballos; lo enseñamos para desarrollar una fuerza general en el aprendiz que nunca podrá obtener de una cosa tan prosaica y especializada como cazar antílopes con red. No enseñamos a asustar tigres con el fin de asustar tigres; lo enseñamos con el propósito de dar ese noble coraje que se aplica a todos los niveles de la vida y que nunca podría originarse en una actividad tan básica como matar osos". Todos los radicales se quedaron sin palabras ante esta declaración; todos salvo el más radical de todos. Estaba desconcertado, es cierto, pero era tan radical que aún hizo una última protesta. "Pero, pero con todo", sugirió, "deberéis admitir que los tiempos han cambiado. ¿No podríais dignaros a probar estas otras actividades más modernas? Después de todo, quizá tengan algún valor educativo". Incluso los compañeros radicales de ese hombre pensaron que había ido demasiado lejos. Los sabios ancianos estaban indignados. La sonrisa se esfumó de sus semblantes. "Si tú mismo tuvieras alguna educación", le dijeron gravemente, "sabrías que la esencia de la verdadera educación es la intemporalidad. Es algo que permanece a través de las condiciones cambiantes como una roca firmemente plantada en medio de un tumultuoso torrente. ¡Has de saber que hay verdades eternas y que el currículo de dientes de sable es una de ellas!".*
>
> Guy CLAXTON, *Educar mentes curiosas*

© Ediciones Morata, S.L

La crisis de la educación científica

Cunde entre los profesores de ciencias, especialmente en la Educación Secundaria, una creciente sensación de desasosiego, de frustración, al comprobar el limitado éxito de sus esfuerzos docentes. En apariencia los alumnos cada vez aprenden menos y se interesan menos por lo que aprenden. Esa crisis de la educación científica, que se manifiesta no sólo en las aulas sino también en los resultados de la investigación en didáctica de las ciencias, a la que luego nos referiremos, es atribuida por muchos a los cambios educativos introducidos en los últimos años en los currículos de ciencias, en el marco general de la Reforma Educativa. Sin embargo, las causas parecen más profundas y remotas. De hecho, en cierto sentido esta crisis no es nueva, ya que forma parte incluso de nuestros propios orígenes, de nuestros mitos. Así, según narra el *Génesis*, tras crear pacientemente los cielos y la tierra y todo su cortejo, la luz y las tinieblas y todas las criaturas que en ellos habitan, incluidos el hombre y la mujer, Dios Yahvé advirtió a Adán y Eva de los peligros de acceder al Árbol de la ciencia del bien y del mal, de los riesgos de intentar comprender el porqué de ese cielo y esa tierra, de esa luz y esas tinieblas en que habitaban, pero éstos le desoyeron y, en lugar de la supuesta manzana, en realidad lo que probaron fue el fruto amargo del conocimiento, que está en el origen de nuestra expulsión del Paraíso Terrenal, que es de hecho nuestro verdadero pecado original, por el que fuimos expulsados de aquel mundo placentero y debemos vagar por este otro mundo, no siempre tan placentero, en el que, entre otras cosas, abundan los alumnos que se resisten tenazmente, tal vez por miedo al pecado y a sus dolores eternos, a comer del frondoso Árbol de la ciencia que con tanto afán sus profesores tentadoramente les ofrecen.

Será por miedo al pecado, o por otras razones más mundanas que en las próximas páginas intentaremos ir desentrañando, pero lo cierto es que los alumnos se mantienen bastante alejados de la tentación del Árbol de la ciencia y cuando prueban sus jugosos frutos no parecen disfrutar de ellos en exceso. Así lo perciben y lo viven muchos profesores de ciencias en su trabajo diario y así lo muestran numerosas investigaciones: de modo mayoritario los alumnos no aprenden la ciencia que se les enseña. Algunos datos y ejemplos incluidos en la Tabla 1.1. bastarán para ilustrarlo.

Cualquier profesor puede encontrar ejemplos de estas ideas en su trabajo cotidiano si utiliza las tareas de evaluación adecuadas. Aunque tradicionalmente se recogían sólo como ejemplos divertidos o chocantes, disparates conceptuales dignos de las correspondientes antologías, parece, a la luz de la investigación reciente que analizaremos con detalle en el Capítulo IV, que es necesario tomárselos muy en serio si queremos mejorar la educación científica. Por un lado, no se trata de respuestas anecdóticas y casuales que dan alumnos especialmente despistados o descuidados. Más que respuestas excepcionales son, en muchos casos, la regla, la forma en que los alumnos entienden habitualmente los fenómenos científicos. Pero además se trata con frecuencia de concepciones muy persistentes que apenas se modifican tras largos años de instrucción científica. Por ejemplo, en una investigación reciente comprobamos las dificultades que plantea la concepción discontinua de la materia, la idea de que

© Ediciones Morata, S.L

Tabla 1.1. *Algunas dificultades que los alumnos encuentran en la comprensión de conceptos del Área de Ciencias de la Naturaleza.* (Adaptado de POZO y GÓMEZ CRESPO 1997b)

GEOLOGÍA - Considerar que la formación de una roca y un fósil que aparece en su superficie no son procesos sincrónicos. Para muchos alumnos la roca existe antes que el fósil (Pedrinaci, 1996). - El relieve terrestre y las montañas son vistas como estructuras muy estables que cambian poco o muy poco, excepto por la erosión (Pedrinaci, 1996).
BIOLOGÍA - Para muchos alumnos la adaptación biológica se basa en que los organismos efectúan conscientemente cambios físicos en respuesta a cambios ambientales, de tal forma que el mecanismo evolutivo se basaría en una mezcla de necesidad, uso y falta de uso (De Manuel y Grau, 1996) - Algunos alumnos piensan que el tamaño de los organismos viene determinado por el tamaño de sus células (De Manuel y Grau, 1996).
FÍSICA - El movimiento implica una causa y, cuando es necesario, esta causa está localizada dentro del cuerpo a modo de fuerza interna que se va consumiendo hasta que el objeto se detiene (Varela, 1996). - Interpretan el término energía como sinónimo de combustible, como algo "casi" material almacenado, que puede gastarse y desaparecer (Hierrezuelo y Montero, 1991).
QUÍMICA - El modelo corpuscular de la materia se utiliza muy poco para explicar sus propiedades y cuando se utiliza se atribuyen a las partículas propiedades del mundo macroscópico (Gómez Crespo, 1996). - En muchas ocasiones no distinguen entre cambio físico y cambio químico, pudiendo aparecer interpretaciones del proceso de disolución en términos de reacciones y, estas últimas interpretarse como si se tratara de una disolución o un cambio de estado (Gómez Crespo, 1996).

ésta está constituida por partículas que interactúan entre sí, separadas por un espacio vacío. Como esperábamos, a partir de estudios anteriores (POZO, GÓMEZ CRESPO y SANZ, 1993, STAVY, 1995), sólo entre un 10% y un 30% de las respuestas de los alumnos adolescentes de diferentes cursos asumen la idea de vacío entre las partículas. Pero es que entre los alumnos universitarios de últimos cursos de Química isólo un 15% de las respuestas aceptan la concepción discontinua! (POZO y GÓMEZ CRESPO, 1997a). De hecho, estas dificultades de comprensión pueden llegar a darse incluso entre los propios profesores de ciencias y con no poca frecuencia en los libros de texto que estudian los alumnos (por ej., BACAS, 1997).

En el Capítulo IV estudiaremos con detalle estas dificultades conceptuales en el aprendizaje de la ciencia, e intentaremos comprender mejor sus causas y

© Ediciones Morata, S.L

posibles soluciones a partir de los recientes desarrollos en psicología cognitiva del aprendizaje. Pero los alumnos no sólo encuentran dificultades conceptuales, también las tienen en el uso de estrategias de razonamiento y solución de problemas propios del trabajo científico. La Tabla 1.2 resume algunas de esas dificultades más comunes en el dominio de lo que podemos llamar los contenidos *procedimentales* del currículo de ciencias, lo que tienen que aprender a hacer con sus conocimientos científicos.

Tabla 1.2. *Algunas dificultades en el aprendizaje de procedimientos en el caso de los problemas cuantitativos.* (Extraído de POZO y GÓMEZ CRESPO, 1996).

1.- ***Escasa generalización* de los procedimientos adquiridos a otros contextos nuevos**. En cuanto el formato o el contenido conceptual del problema cambia, los alumnos se sienten incapaces de aplicar a esa nueva situación los algoritmos aprendidos. El verdadero problema de los alumnos es saber de qué va el problema (de regla de tres, de equilibrio químico, etc).

2.- **El *escaso significado* que tiene el resultado obtenido para los alumnos.** Por lo general, aparecen superpuestos dos problemas, el de ciencias y el de matemáticas, de forma que, en muchas ocasiones este último enmascara al primero. Los alumnos se limitan a encontrar la "fórmula" matemática y llegar a un resultado numérico, olvidando el problema de ciencias. Aplican ciegamente un algoritmo o un modelo de "problema" sin comprender lo que hacen.

3.- ***Escaso control metacognitivo* alcanzado por los alumnos sobre sus propios procesos de solución**. La tarea se ve reducida a la identificación del tipo de ejercicio, y a seguir de forma algorítmica los pasos que ha seguido en ejercicios similares en busca de la solución "correcta" (normalmente única). El alumno apenas se fija en el proceso, sólo le interesa el resultado (que es lo que suele evaluarse). De esta forma, la *técnica* se impone sobre la *estrategia* y el problema se convierte en un simple ejercicio rutinario.

4.- **El *escaso interés* que esos problemas despiertan en los alumnos**, cuando se utilizan de forma masiva y descontextualizada, reduciendo su motivación para el aprendizaje de la ciencia.

Muchas veces no logran adquirir las destrezas que se requieren, ya sea para elaborar una gráfica a partir de unos datos o para observar correctamente a través de un microscopio, pero otras el problema se debe más bien a que saben hacer cosas pero no entienden lo que hacen, y consiguientemente no logran explicarlas ni aplicarlas a nuevas situaciones. Este es un déficit muy común. Incluso cuando los profesores creen que sus alumnos han aprendido algo -y de hecho comprueban que es así mediante una evaluación- lo aprendido se diluye o difumina rápidamente en cuanto se trata de aplicarlo a un problema o situación nueva o en cuanto se pide al alumno una explicación de lo que está haciendo. Estas dificultades se ponen de manifiesto sobre todo en la resolución de problemas, que los alumnos tienden a afrontar de un modo repetitivo, como simples ejercicios rutinarios, en vez de como tareas abiertas que requieren reflexión y toma de decisiones por su parte (CABALLER y OÑORBE, 1997; POZO

© Ediciones Morata, S.L

y GÓMEZ CRESPO, 1994). En el Capítulo III analizaremos con detalle estas dificultades de aprendizaje y sus posibles soluciones, pero sin duda buena parte de ellas se deben a las propias prácticas escolares en solución de problemas, que tienden a centrarse más en tareas rutinarias o cerradas, con escaso significado científico ("cuál será la velocidad alcanzada a los 43 segundos por un proyectil que, partiendo del reposo, está sometido a una aceleración constante de 2 m/s^2?"), que en verdaderos problemas con contenido *científico* ("¿por qué son los días más largos en verano que en invierno?").

Esta pérdida de sentido del conocimiento científico no sólo limita su utilidad o aplicabilidad por parte de los alumnos, sino también su interés o relevancia. De hecho, como consecuencia de la enseñanza recibida, los alumnos manifiestan actitudes inadecuadas o incluso incompatibles con los propios fines de la ciencia, que se traducen sobre todo en una falta de motivación o interés por su aprendizaje, además de una escasa valoración de sus saberes, ya que, como mostraban GIORDAN y DE VECCHI (1987), muchas veces tienden a creer en formas de conocimiento (como la astrología o la quiromancia) escasamente compatibles con el discurso científico. La Tabla 1.3 viene a resumir algunos de los problemas *actitudinales* que tienden a mostrar los alumnos, que como mínimo se desvían de los que cabría esperar de una adecuada instrucción científica. Además de esa falta de interés, los alumnos tienden a asumir actitudes inadecuadas con respecto al trabajo científico, adoptando posiciones pasivas, esperando respuestas en lugar de formularlas, y mucho menos hacerse ellos mismos las preguntas; concebir los experimentos como "demostraciones" y no como investigaciones; asumir que el trabajo intelectual es una actividad individual y no de cooperación y búsqueda conjunta; considerar la ciencia como un conocimiento neutro, desligado de sus repercusiones sociales; asumir la superioridad del conocimiento científico con respecto a otras formas de saber culturalmente más "primitivas", etc.

Tabla 1.3. *Algunas actitudes y creencias inadecuadas mantenidas por los alumnos con respecto a la naturaleza de la ciencia y a su aprendizaje*

- Aprender ciencia consiste en repetir de la mejor forma posible lo que explica el profesor en clase
- Para aprender ciencia es mejor no intentar encontrar tus propias respuestas sino aceptar lo que dice el profesor y el libro de texto, ya que está basado en el conocimiento científico
- El conocimiento científico es muy útil para trabajar en el laboratorio, para investigar y para inventar cosas nuevas, pero apenas sirve para nada en la vida cotidiana
- La ciencia nos proporciona un conocimiento verdadero y aceptado por todos
- Cuando sobre un mismo hecho hay dos teorías, es que una de ellas es falsa: la ciencia acabará demostrando cuál de ellas es la verdadera
- El conocimiento científico es siempre neutro y objetivo
- Los científicos son personas muy inteligentes, pero un tanto raras, que viven encerrados en su laboratorio
- El conocimiento científico está en el origen de todos los descubrimientos tecnológicos y acabará por sustituir a todas las demás formas del saber
- El conocimiento científico trae consigo siempre una mejora en la forma de vida de la gente

Esta imagen de la ciencia, que en rigor no se corresponde con lo que verdaderamente hacen los científicos, aunque está también muy presente en los medios de comunicación social -un científico es siempre alguien vestido con bata blanca que manipula aparatos en un laboratorio- se mantiene y refuerza mediante la actividad cotidiana en el aula, si bien no siempre se hace de forma explícita. En el próximo capítulo analizaremos con mayor detalle cómo podemos interpretar este desfase entre las actitudes supuestamente buscadas y las obtenidas en los alumnos, con especial incidencia en el sempiterno problema de la motivación, o para ser exactos de la falta de motivación, de los alumnos por el aprendizaje de la ciencia. Pero en todo caso el aprendizaje de actitudes es mucho más relevante y complejo de lo que con frecuencia suele asumirse (véase por ej., KOBALLA, 1995; SIMPSON y cols., 1994).

Por tanto, la educación científica debería también promover y cambiar ciertas actitudes en los alumnos, lo que habitualmente no logra, en parte porque los profesores de ciencias no suelen considerar que la educación en actitudes forme parte de sus objetivos y contenidos esenciales, aunque paradójicamente las actitudes de los alumnos en las aulas suelen ser uno de los elementos más molestos y disruptivos para la labor docente de muchos profesores. De hecho, el deterioro del clima educativo en las aulas y en los centros, especialmente en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), el desajuste creciente entre las metas de los profesores y las de los alumnos, son algunos de los síntomas más presentes e inquietantes de esta *crisis de la educación científica* cuyos rasgos más visibles acabamos de esbozar. Tal vez los alumnos nunca entendieron muy bien el proceso de disolución o el principio de conservación de la energía, y tal vez nunca hayan sido capaces de hacer una investigación, pero al menos lo intentaban y hacían un esfuerzo mayor por aparentar que estaban aprendiendo. Este deterioro de la educación científica se traduce también en una supuesta bajada de los niveles de aprendizaje de los alumnos, una apreciable desorientación entre el profesorado ante la multiplicación de las demandas educativas a las que tiene que hacer frente (nuevas materias, nuevos métodos, alumnos diversos, etc.) y, en general, un desfase creciente entre las demandas formativas de los alumnos, especialmente a partir de la adolescencia, y la oferta educativa que reciben.

Así las cosas, no es extraño que se reclame desde ámbitos académicos, profesionales y también políticos una *vuelta a lo básico*, a los contenidos y formatos tradicionales de la educación científica, al *currículo de los dientes de sable*, como una especie de reflejo condicionado ante la confusa amenaza compuesta por los ingredientes que acabamos de describir, vagamente asociados a los aires de cambio asociados a la Reforma Educativa y sus nuevas propuestas curriculares de orientación constructivista. Es comprensible que en esta situación de desconcierto se pretenda recurrir a fórmulas conocidas, a formatos educativos largamente practicados, y que sin duda durante décadas han cumplido de forma más o menos adecuada su función social. Sin embargo, la nostalgia del pasado no debe impedirnos percibir los enormes cambios culturales que están teniendo lugar y que hacen inviable un retorno -o el mantenimiento- de esos formatos educativos tradicionales. Uno de los problemas de defender la "vuelta a lo básico" es que aún no hemos ido a ninguna parte de la que tengamos que volver. Las dificultades que los profesores de ciencias viven cotidiana-

© Ediciones Morata, S.L

mente en las aulas no suelen ser consecuencia de la aplicación de nuevos planteamientos curriculares con una orientación *constructivista*, sino que, en la mayor parte de los casos, se producen en el intento de mantener un tipo de educación científica, que en sus contenidos, en sus actividades de aprendizaje y criterios de evaluación y sobre todo en sus metas, se halla bastante próxima a esa tradición a la que supuestamente se quiere volver.

Desde nuestro punto de vista (argumentado con más detalle en Pozo, 1997b) el problema es precisamente que el currículo de ciencias apenas ha cambiado, mientras que la sociedad a la que va dirigida esa enseñanza de la ciencia y las demandas formativas de los alumnos sí que han cambiado. El desajuste entre la ciencia que se enseña (en sus formatos, contenidos, metas., etc.) y los propios alumnos es cada vez mayor, reflejando una auténtica crisis en la *cultura educativa* que requiere adoptar no sólo nuevos métodos, sino sobre todo nuevas metas, una nueva cultura educativa que, de forma vaga e imprecisa, podemos vincular al llamado *constructivismo*. No vamos a analizar aquí las diversas formas de concebir la construcción del conocimiento, lo que tienen en común y lo que las diferencia, ya que hay fuentes recientes en las que se realiza este análisis de forma detallada (Carretero, 1993; Coll, 1996; Monereo, 1995; Pozo, 1996b; Rodrigo y Arnay, 1997). Pero sí intentaremos justificar cómo este enfoque se adecua bastante mejor que esos formatos tradicionales a la forma en que el conocimiento científico se elabora en la propia evolución de las disciplinas, se aprende desde el punto de vista psicológico y se distribuye y divulga en la nueva sociedad de la información y el conocimiento ya en las puertas del siglo xxi. La nueva cultura del aprendizaje que se abre en este horizonte del siglo xxi es difícilmente compatible con formatos escolares y metas educativas que apenas han cambiado desde la constitución de las instituciones escolares como tales en el siglo xix.

La construcción del conocimiento como nueva cultura educativa

La idea básica del llamado enfoque constructivista es que aprender y enseñar, lejos de ser meros procesos de repetición y acumulación de conocimientos, implican transformar la mente de quien aprende, que debe *reconstruir* a nivel personal los productos y procesos culturales con el fin de apropiarse de ellos. Esta idea no es desde luego nueva, ya que de hecho tiene detrás también una larga historia cultural y filosófica (Pozo, 1996a), pero debido a los cambios habidos en la forma de producir, organizar y distribuir los conocimientos, en nuestra sociedad, entre ellos los científicos, sí resulta bastante novedosa la necesidad de extender esta forma de aprender y enseñar a casi todos los ámbitos formativos, y desde luego a la enseñanza de las ciencias. Las razones de este impulso constructivista pueden encontrarse en diversos planos o niveles de análisis que vienen a empujar en una misma dirección, aunque con apreciables diferencias. Una primera justificación la encontraríamos en el plano *epistemológico,* estudiando cómo se genera o elabora el conocimiento científico.

La elaboración del conocimiento científico

Durante mucho tiempo se concibió que el conocimiento científico surgía de "escuchar adecuadamente la voz de la Naturaleza", según dice CLAXTON (1991). Todo lo que había que hacer para descubrir una Ley o un Principio era observar y recoger datos en forma adecuada y de ellos surgiría inevitablemente la verdad científica. Esta imagen de la ciencia como un proceso de descubrimiento de leyes cuidadosamente enterradas bajo la apariencia de la realidad, sigue aún en buena medida vigente en los medios de comunicación e incluso en las aulas. De hecho, todavía se sigue enseñando que el conocimiento científico se basa en la aplicación rigurosa del "método científico" que debe comenzar por la observación de los hechos, de la cual deben extraerse las leyes y principios.

Esta concepción *positivista*, según la cual la ciencia es una colección de hechos objetivos regidos por leyes que pueden extraerse directamente si se observan esos hechos con una metodología adecuada, se ha visto superada, entre los filósofos e historiadores de la ciencia, pero no necesariamente en las aulas, como veremos en el Capítulo VIII, por nuevas concepciones epistemológicas según las cuales el conocimiento científico no se extrae nunca de la realidad sino que procede de la mente de los científicos que elaboran modelos y teorías en el intento de dar sentido a esa realidad. Superada la "glaciación positivista", parece asumirse hoy que la ciencia no es un discurso sobre "lo real" sino más bien un proceso socialmente definido de elaboración de modelos para interpretar la realidad. Las teorías científicas no son saberes absolutos o positivos, sino aproximaciones relativas, construcciones sociales que lejos de "descubrir" la estructura del mundo, o de la naturaleza, la construyen o la modelan. No es la voz cristalina de la Naturaleza la que escucha un científico cuando hace un experimento; lo que escucha más bien es el diálogo entre su teoría y la parte de la realidad interrogada mediante ciertos métodos o instrumentos. En el mejor de los casos nos llega el eco de la realidad, pero nunca podemos oír directamente la voz de la Naturaleza. Del mismo modo, los conceptos y leyes que componen las teorías científicas *no están en* la realidad, sino que son parte de esas mismas teorías. Vladimir NABOKOV ironizaba sobre la fe realista según la cual si "la alizarina ha existido en el carbón sin que lo supiéramos, las cosas deben existir independientemente de nuestros conocimientos". La idea de que los átomos, los fotones o la energía están ahí, fuera de nosotros, *existen realmente*, y están esperando ser descubiertos, es frontalmente opuesta a los supuestos epistemológicos del constructivismo, pero sin embargo es implícita o explícitamente asumida por muchos profesores y desde luego por casi todos los alumnos, lo que les lleva a confundir los modelos con la realidad que representan, por ejemplo atribuyendo propiedades macroscópicas a las partículas microscópicas constituyentes de la materia, convirtiendo la energía en una sustancia, la fuerza en un movimiento perceptible, como veremos con detalle en la Segunda Parte del libro (Capítulos VI y VII).

Ni siquiera el viejo "cliché" de la ciencia empírica, dedicada a descubrir las leyes que gobiernan la naturaleza mediante la realización de experimentos es ya cierto. Buena parte de la ciencia puntera, de frontera, se basa cada vez más en el paradigma de la *simulación*, más que en el experimento en sí, lo cual supone una importante revolución en la forma de hacer ciencia y de concebirla

© Ediciones Morata, S.L

(WAGENSBERG, 1993). La astrofísica, pero también las ciencias cognitivas, no "descubren" cómo son las cosas indagando en lo real, sino que *construyen* modelos y a partir de ellos simulan ciertos fenómenos comprobando su grado de ajuste a lo que conocemos de la realidad. Aprender ciencia debe ser por tanto una tarea de comparar y diferenciar modelos, no de adquirir saberes absolutos y verdaderos. El llamado cambio conceptual, necesario para que el alumno progrese desde sus conocimientos intuitivos hacia los conocimientos científicos, requiere pensar *en* los diversos modelos y teorías desde los que se puede interpretar la realidad y no sólo *con* ellos, como veremos en el Capítulo V.

Además, la ciencia es un *proceso*, no sólo un producto acumulado en forma de teorías o modelos, y es necesario trasladar a los alumnos ese carácter dinámico y perecedero de los saberes científicos (DUCHSL, 1994) logrando que perciban su provisionalidad y su naturaleza histórica y cultural, que comprendan las relaciones entre el desarrollo de la ciencia, la producción tecnológica y la organización social, y por tanto el compromiso de la ciencia con la sociedad, en vez de la neutralidad y *objetividad* del supuesto saber positivo de la ciencia. Enseñar ciencias no debe tener como meta presentar a los alumnos los productos de la ciencia como saberes acabados, definitivos (la materia es discontinua, la energía no se consume sino que se conserva, es la Tierra la que gira en torno al Sol y no al revés), en los cuales, como señala irónicamente CLAXTON (1991), deben creer con fe ciega; ya que si abren bien los ojos todos los indicios disponibles indican precisamente lo contrario, que la materia es continua, que es el Sol el que gira, que la energía, como la paciencia del alumno, se gasta... Al contrario se debe enseñar la ciencia como un saber histórico y provisional, intentando hacerles participar de algún modo en el proceso de elaboración del conocimiento científico, con sus dudas e incertidumbres, lo cual requiere de ellos también una forma de abordar el aprendizaje como un proceso constructivo, de búsqueda de significados e interpretación, en lugar de reducir el aprendizaje a un proceso repetitivo o reproductivo de conocimientos *precocinados*, listos para el consumo.

El aprendizaje como proceso constructivo

De hecho, esos supuestos epistemológicos, la concepción de la ciencia como un proceso de construcción de modelos y teorías, requieren también, en el orden *psicológico,* adoptar un enfoque constructivista en la enseñanza de las ciencias. Superada aquí también la glaciación conductista, paralela a la anterior, no puede concebirse ya el aprendizaje como una actividad sólo reproductiva o acumulativa. Nuestro sistema cognitivo tiene unas características muy específicas que condicionan nuestra forma de aprender (POZO, 1996a). Frente a otras especies, que disponen en un alto grado de conductas genéticamente programadas para adaptarse a ambientes muy estables, los seres humanos necesitamos adaptarnos a condiciones mucho más cambiantes e imprevisibles, en gran medida por la propia intervención de la cultura, por lo que necesitamos disponer de mecanismos de adaptación más flexibles, que no pueden estar pre-programados. En suma necesitamos de procesos de aprendizaje muy potentes.

© Ediciones Morata, S.L

La prolongada inmadurez de la especie humana nos permite adaptarnos lentamente a las demandas culturales (BRUNER, 1972, 1997) gracias al efecto amplificador de los procesos de aprendizaje sobre nuestro sistema cognitivo, que de hecho tiene una arquitectura sorprendentemente limitada. Así, a diferencia por ejemplo del ordenador en que escribimos estas líneas, las personas tenemos una capacidad muy limitada de trabajo simultáneo, o *memoria de trabajo*, ya que podemos atender o activar muy poca información a la vez. Intente si no el lector realizar una fácil operación de multiplicación con el único apoyo de sus recursos cognitivos, como por ejemplo, multiplicar 27 por 14. Se encontrará sorprendentemente limitado, no debido a la complejidad de la operación (con la ayuda de lápiz y papel es muy sencilla) sino debido a la escasa capacidad de procesamiento simultáneo de la mente humana, que nos permite atender a muy pocas cosas *nuevas* a la vez. Esta capacidad limitada puede sin embargo amplificarse notablemente mediante el aprendizaje, que nos permite reconocer situaciones a las que ya nos habíamos enfrentado antes o automatizar conocimientos y habilidades, reservando esas escasas capacidades para lo que hay de realmente nuevo en una situación (para más detalles de los procesos implicados véase POZO, 1996a).

Pero además de tener una memoria de trabajo muy limitada, hay otra diferencia esencial entre el funcionamiento cognitivo humano y el de un ordenador en relación con el aprendizaje. Nuestra memoria permanente no es nunca una reproducción fiel del mundo, nuestros recuerdos no son copias del pasado sino reconstrucciones de ese pasado desde el presente. Así, la recuperación de lo que aprendemos, tiene un carácter *dinámico y constructivo*: a diferencia de un ordenador somos muy limitados en la recuperación de información literal, pero muy dotados para la interpretación de esa misma información. Si el lector intenta recordar literalmente la frase que acaba de leer, probablemente le resulte imposible, pero queremos pensar que no tendrá problemas para recordar su significado, interpretando lo que acaba de leer en sus propias palabras, que seguramente no serán exactamente iguales a las de otro lector, y desde luego, no serán una *copia* literal del texto que acaba de leer.

En realidad, el aprendizaje y el olvido no son procesos opuestos. Un sistema cognitivo que hace copias literales de toda la información, como un ordenador, es un sistema que no olvida y por tanto que tampoco es capaz de aprender. De hecho, con sus limitaciones en la memoria de trabajo y en la recuperación literal de la información, el sistema humano de aprendizaje y memoria es el dispositivo más complejo de aprendizaje que conocemos. Los ordenadores logran superar el rendimiento humano en muchas tareas pero es difícil imaginar un ordenador que aprenda *tan bien* como un alumno, aunque quizá muchos profesores cuando enseñan asumen que sus alumnos aprenden *tan mal* como un ordenador, ya que paradójicamente el aprendizaje escolar tiende a reclamar de los alumnos aquello para lo que están menos dotados: repetir o reproducir las cosas con exactitud. Aprender no es hacer *fotocopias* mentales del mundo ni enseñar es enviar un fax a la mente del alumno para que ésta emita una copia, que el día del examen el profesor compara con el original en su día enviado por él. Ésta es quizá la tesis central del constructivismo psicológico, lo que todo modelo o posición basado en este enfoque tiene en común: el conocimiento no es nunca una copia de la realidad que representa, pero existen muy

© Ediciones Morata, S.L.

diversas formas de interpretar los procesos psicológicos implicados en esa construcción, por lo que, lejos de ser un modelo único, existen diferentes alternativas teóricas que comparten esos supuestos comunes, con implicaciones bien diferenciadas para el currículo de ciencias (un análisis de diferentes teorías cognitivas del aprendizaje puede encontrarse en Pozo, 1989). Esas diferentes formas de concebir el aprendizaje no son de hecho incompatibles o contradictorias, sino que están relacionadas con las diferentes metas de la educación, que cambian no sólo debido a nuevos planteamientos epistemológicos o psicológicos, sino sobre todo a la aparición de nuevas demandas educativas, de cambios en la organización y distribución social del conocimiento.

Las nuevas demandas educativas en la sociedad de la información y el conocimiento

Hay otras razones aún más importantes que las señaladas hasta ahora para reclamar este cambio *cultural* en la forma de aprender y enseñar. Un sistema educativo, a través del establecimiento de los contenidos de las diferentes materias que estructuran el currículo, tiene como función formativa esencial hacer que los futuros ciudadanos interioricen, asimilen la cultura en la que viven, en un sentido amplio, compartiendo las producciones artísticas, científicas, técnicas, etc., propias de esa cultura, y comprendiendo su sentido histórico, pero también, desarrollando las capacidades necesarias para acceder a esos productos culturales, disfrutar de ellos y, en lo posible, renovarlos. Pero esta formación cultural se produce en el marco de una *cultura del aprendizaje*, que evoluciona con la propia sociedad. Las formas de aprender y enseñar son una parte más de la cultura que todos debemos aprender y cambian con la propia evolución de la educación y de los conocimientos que deben ser enseñados. La primera forma reglada de aprendizaje, la primera escuela históricamente conocida, las "casas de tablillas" aparecidas en Sumer hace unos 5.000 años, estaba vinculada a la enseñanza del primer sistema de lectoescritura conocido y dio lugar a la primera metáfora cultural del aprendizaje, que aún perdura entre nosotros (aprender es escribir en una "tabula rasa", las tablillas de cera virgen en las que escribían los sumerios). Desde entonces, cada revolución cultural en las tecnologías de la información y, como consecuencia de ello, en la organización y distribución social del saber, ha conllevado una revolución paralela en la cultura del aprendizaje, la más reciente de las cuales aún no ha terminado: las nuevas tecnologías de la información, unidas a otros cambios sociales y culturales, están dando lugar a una nueva cultura del aprendizaje que trasciende el marco de la cultura impresa y que debe de condicionar los fines sociales de la educación y, en especial, las metas de la educación secundaria.

De una manera resumida podríamos caracterizar esta nueva cultura del aprendizaje que se avecina por tres rasgos esenciales: estamos ante la sociedad de la información, del conocimiento múltiple y del aprendizaje continuo (Pozo, 1996a). En la *sociedad de la información* la escuela ya no es la fuente primera, y a veces ni siquiera la principal, de conocimiento para los alumnos en muchos dominios. Son muy pocas ya las "primicias" informativas que se reser-

© Ediciones Morata, S.L.

van para la escuela. Los alumnos, como todos nosotros, son bombardeados por distintas fuentes, que llegan incluso a producir una saturación informativa; ni siquiera deben buscar la información, es ésta la que, en formatos casi siempre más ágiles y atractivos que los escolares, les busca a ellos. Como consecuencia, los alumnos cuando van a estudiar la extinción de los dinosaurios, los movimientos de los planetas o la circulación de la sangre en el cuerpo humano suelen tener ya información procedente del cine, la televisión u otros medios de comunicación. Pero se trata de información deslavazada, fragmentaria y a veces incluso deformada. Lo que necesitan los alumnos de la educación científica no es tanto más información, que pueden sin duda necesitarla, como sobre todo la capacidad de organizarla e interpretarla, de darle sentido. Y, de modo muy especial, lo que van a necesitar como futuros ciudadanos son, ante todo, capacidades para buscar, seleccionar e interpretar la información. La escuela ya no puede proporcionar toda la información relevante, porque ésta es mucho más móvil y flexible que la propia escuela, lo que sí puede es formar a los alumnos para poder acceder a ella y darle sentido, proporcionándoles capacidades de aprendizaje que les permitan una asimilación crítica de la información.

Como consecuencia en parte de esa multiplicación informativa, pero también de cambios culturales más profundos, vivimos también una *sociedad de conocimiento múltiple y descentrado*. Siguiendo las reflexiones de CERUTI (1991), la evolución del conocimiento científico sigue un proceso de "descentración" progresiva de nuestros saberes. La descentración comienza con Copérnico, que nos hace perder el centro del Universo, sigue con Darwin que nos hace perder el centro de nuestro planeta, al convertirnos en una especie o rama más o menos azarosa del árbol genealógico de la materia orgánica, y se completa con Einstein y la física contemporánea que nos hacen perder nuestras coordenadas espacio-temporales más queridas, situándonos en el vértice del caos y la antimateria, los agujeros negros, y todos esos misterios que cada día nos empequeñecen más. Apenas quedan ya saberes o puntos de vista absolutos que deban asumirse como futuros ciudadanos, más bien hay que aprender a convivir con la diversidad de perspectivas, con la relatividad de las teorías, con la existencia de interpretaciones múltiples de toda información, y aprender a construir el propio juicio o punto de vista a partir de ellas. No es ya sólo la ciencia, como hemos señalado, la que ha perdido su fe realista, tampoco la literatura, o el arte de finales del siglo XX asumen una posición realista, según la cual el conocimiento o la representación artística reflejen la realidad, sino que más bien la reinterpretan o recrean. La ciencia del siglo XX se caracteriza por la pérdida de la certidumbre, incluso en las antes llamadas "ciencias exactas", cada vez más teñidas también de incertidumbre. Así las cosas, no se trata ya de que la educación proporcione a los alumnos conocimientos como si fueran verdades acabadas, sino de que les ayude a construir su propio punto de vista, su verdad particular a partir de tantas verdades parciales.

Además, buena parte de los conocimientos que puedan proporcionarse a los alumnos hoy no sólo son relativos, sino que tienen fecha de caducidad. Al ritmo de cambio tecnológico y científico en que vivimos, nadie puede prever qué tendrán que saber los ciudadanos dentro de diez o quince años para poder afrontar las demandas sociales que se les planteen. Lo que sí podemos asegurar es que van a seguir teniendo que aprender después de la educación secun-

daria, ya que vivimos también en la *sociedad del aprendizaje continuo*. La educación obligatoria y postobligatoria cada vez se prolongan más, pero además, por la movilidad profesional y la aparición de nuevos e imprevisibles perfiles laborales, cada vez es más necesaria la formación profesional permanente. El sistema educativo no puede formar específicamente para cada una de esas necesidades, lo que sí puede hacer es formar a los futuros ciudadanos para que sean aprendices más flexibles, eficaces y autónomos, dotándoles de *capacidades* de aprendizaje y no sólo de conocimientos o saberes específicos que suelen ser menos duraderos. Así, "aprender a aprender" constituye una de las demandas esenciales que debe satisfacer el sistema educativo, como señalan diversos estudios sobre las necesidades educativas en el próximo siglo[1]. El currículo de ciencias es una de las vías a través de las cuales los alumnos deben aprender a aprender, adquirir estrategias y capacidades que les permitan transformar, reelaborar y en suma reconstruir los conocimientos que reciben (PÉREZ CABANÍ, 1997; POZO y MONEREO, 1998; POZO, POSTIGO y GÓMEZ CRESPO, 1995). Lejos de pretender que una vuelta a los "viejos contenidos" -de los que como señalábamos antes, en realidad nunca nos hemos ido- pueda resolver la crisis de la educación científica, es necesario renovar no sólo esos contenidos sino también las metas a los que van dirigidas, concibiéndolos no tanto como un fin en sí mismos -saberes absolutos o positivos, a la vieja usanza- sino como medios necesarios para que los alumnos accedan a ciertas capacidades y formas de pensamiento que no serían posibles sin la enseñanza de la ciencia.

Las nuevas metas de la educación científica: de la selección a la formación

Frente a la idea, compartida posiblemente por muchos profesores, de que la educación científica debe estar dirigida a unas metas fijas, inmutables, consistentes en la transmisión del saber científico establecido, y por tanto ajenas a los avatares sociales, cualquier análisis de la evolución de los currículos de ciencias muestra que éstos evolucionan, en sus fines, y en consecuencia en sus contenidos y en sus métodos, con la sociedad de la que forman parte y a la que se dirigen (para un análisis de esta evolución histórica de las metas de la educación científica véase BYBEE y DEBOER, 1994). De hecho, los cambios que acabamos de comentar en la producción, distribución y adquisición social del conocimiento, unidos a otros cambios no menos importantes en los mercados laborales, están llevando a una prolongación y extensión de la educación obligatoria que debe tener consecuencias importantes con respecto a sus fines o metas educativos (POZO, en prensa a). La extensión de la educación obligatoria hasta los 16 años, junto con el carácter comprehensivo o no diferenciador de esta etapa inicial de la educación secundaria, conlleva la necesidad de atender a alumnos

[1]. Ver, por ejemplo, el Libro Blanco de la Comisión Europea *Enseñar y Aprender. Hacia la Sociedad del conocimiento* (Ed. Santillana, 1997) donde lejos de reclamar ninguna mirada al pasado, se apuesta por una profunda renovación y flexibilización de los sistemas educativos para afrontar las demandas formativas del próximo siglo.

© Ediciones Morata, S.L

con capacidades y condiciones de partida diferentes, así como fijar metas educativas dirigidas no tanto a promocionar a los alumnos a niveles educativos superiores como a proporcionarles un bagaje cultural y científico de carácter general, que deberá profundizarse y especializarse para aquellos alumnos que accedan a la educación secundaria post-obligatoria.

Por tanto, las metas de la educación secundaria obligatoria y post-obligatoria deben ser en parte diferentes. En este sentido, se trata de una etapa de transición entre dos *culturas educativas* bien diferenciadas, dirigidas a metas distintas, ya que cumplen funciones sociales diferentes. De las dos funciones que suele cumplir todo sistema educativo o instruccional, la educación primaria está necesariamente dirigida más a la *formación* que a la selección de los alumnos. Los contenidos en esta etapa se fijaban y se fijan pensando más en las necesidades formativas de todos los ciudadanos que en el establecimiento de niveles mínimos exigibles para el acceso a niveles educativos superiores. En cambio, en la educación superior, la *selección* de los alumnos de acuerdo con esos niveles establecidos suele primar con frecuencia sobre los criterios formativos. Aunque ambas funciones, la formación y la selección, no tienen por qué estar reñidas, hay sin duda una primacía de una u otra en distintas etapas educativas, y no es aventurado decir que tradicionalmente en la educación secundaria, y sobre todo en el bachillerato, ha primado el criterio selectivo sobre el formativo.

Ha habido una larga tradición educativa en España según la cual la educación secundaria ha sido ante todo un período de preparación o selección para el acceso a la universidad (para superar el examen de "selectividad"), más que una etapa con metas formativas que se justifiquen en sí mismas. De hecho, entre los profesores de ciencias está muy extendida esta creencia selectiva según la cual no sólo es normal sino casi necesario que buena parte de los alumnos fracasen ante la ciencia. Por ejemplo, en una investigación sobre la forma en que los profesores de ciencias conciben la evaluación, Alonso, Gil y Martínez Torregrosa (1995) encontraron que casi el 90% de los profesores de Física y Química está convencido de que en su materia una evaluación adecuada es aquella que "suspende" a la mitad de los alumnos. Si la mayoría aprueba tienden a creer que esa evaluación ha estado mal diseñada. Esta tradición selectiva es sin embargo difícilmente compatible con las propias metas de una educación secundaria obligatoria y, en un sentido más general, con las nuevas necesidades formativas que en nuestra sociedad deben exigirse al sistema educativo. A medida que un sistema educativo se extiende, alcanza a más capas de la población y se prolonga más en el tiempo, su función selectiva decrece o al menos se retrasa (con respecto a los cambios debidos a la generalización de la educación secundaria en nuestras aulas, véase Gimeno Sacristán, 1996). Hoy en día ni siquiera acceder a la universidad y obtener un título superior es realmente selectivo, si atendemos a la masificación que encontramos en nuestras aulas y al nivel de desempleo entre los universitarios. Frente a la función eminentemente selectiva del bachillerato tradicional, hay que buscar nuevas metas educativas para la educación secundaria, dirigidas más a desarrollar en los alumnos capacidades formativas que les permitan afrontar los cambios culturales que se están produciendo no sólo en la vida social, sino sobre todo en los perfiles profesionales y laborales y en la propia organización y distribución social del conocimiento que describíamos antes.

Por ello una *vuelta a lo básico,* a las formas y contenidos del tradicional currículo *selectivo* para la enseñanza de las ciencias, lejos de mejorar la educación científica, probablemente no haría sino empeorar las cosas, al acrecentar el desfase entre lo que se pretende (las metas educativas), lo que se enseña (los contenidos) y lo que se aprende (lo que aprenden los alumnos) (DUCHSL y HAMILTON, 1992). No basta con que pretendamos enseñar muchas cosas y muy relevantes, ni siquiera con que se enseñen realmente. La eficacia de la educación científica deberá medirse por lo que logremos que los alumnos aprendan realmente. Y para ello es necesario que las metas, los contenidos y los métodos de la enseñanza de la ciencia tengan en cuenta no sólo el saber disciplinar que debe enseñarse sino también las características de los alumnos a los que esa enseñanza va dirigida y las demandas sociales y educativas en las que esa enseñanza tiene lugar. Si se analizan esos tres aspectos de modo conjunto, como hemos intentado hacer brevemente en el apartado anterior al definir esa nueva cultura del aprendizaje (un análisis más extenso de esas nuevas demandas de aprendizaje puede encontrarse en POZO, 1996a), debe convenirse que la educación científica, para justificarse en nuestra sociedad, ha de buscar metas que vayan más allá de la selección del alumnado, o de considerar la enseñanza de la ciencia como un fin en sí misma, lo que condicionará seriamente los contenidos y los métodos de esa enseñanza.

¿Cuáles deben ser los fines de la educación científica, especialmente en ese período crítico de la educación secundaria? JIMÉNEZ ALEIXANDRE y SANMARTÍ (1997) establecen cinco metas o finalidades que parecen claramente asumibles:

a) El aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos
b) El desarrollo de destrezas cognitivas y de razonamiento científico
c) El desarrollo de destrezas experimentales y de resolución de problemas
d) El desarrollo de actitudes y valores
e) La construcción de una imagen de la ciencia

Al traducir estas metas en contenidos concretos de la enseñanza de la ciencia, *a través de* los cuales se desarrollarían en los alumnos las *capacidades* correspondientes a esas finalidades, nos encontraríamos con tres tipos de contenidos, que se corresponden con los tres tipos de dificultades de aprendizaje identificados en páginas anteriores (véase Tabla 1.4).

Tabla 1.4. *Tipos de contenidos en el currículo. Los más específicos deben ser instrumentales para acceder a los contenidos más generales, que deben constituir la verdadera meta del currículo de ciencias.*

TIPOS DE CONTENIDO	**Más específicos** ◄——►		**Más generales**
Verbales	Hechos/Datos	Conceptos	Principios
Procedimentales	Técnicas		Estrategias
Actitudinales	Actitudes	Normas	Valores

La finalidad de lograr "el aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos" requeriría superar las dificultades de comprensión e implicaría traba-

© Ediciones Morata, S.L

jar *los contenidos verbales*, desde los más específicos y simples (los hechos o datos) a los conceptos disciplinares específicos, hasta alcanzar los principios estructurantes de las ciencias (sobre cuyo aprendizaje tratará el Capítulo IV). "El desarrollo de destrezas cognitivas y de razonamiento científico" y de "destrezas experimentales y de resolución de problemas" requerirá que los *contenidos procedimentales* ocupen un lugar relevante en la enseñanza de las ciencias, que tendría por objeto no sólo transmitir a los alumnos los saberes científicos sino también hacerles partícipes, en lo posible, de los propios procesos de construcción y apropiación del conocimiento científico, lo cual implica también superar limitaciones específicas en el aprendizaje tanto de técnicas o destrezas como sobre todo de estrategias de pensamiento y aprendizaje, como veremos en el Capítulo III). A su vez, "el desarrollo de actitudes y valores" exigirá que los *contenidos actitudinales* se reconozcan explícitamente como una parte constitutiva de la enseñanza de las ciencias, que debe promover no sólo actitudes o conductas específicas, sino también normas que regulen esas conductas y sobre todo valores más generales que, como vamos a ver en el próximo capítulo, permitan sustentar e interiorizar en los alumnos esas formas de comportarse y de acercarse al conocimiento.

Por último, la finalidad de promover "una imagen de la ciencia", como señalan JIMÉNEZ ALEIXANDRE y SANMARTÍ (1997), es en cierto modo transversal a todas las anteriores y debe desarrollarse a través de todos los contenidos mencionados, verbales, procedimentales y actitudinales, ayudando a los alumnos no sólo a identificar los rasgos del conocimiento científico sino, sobre todo, a diferenciarlo y a valorarlo en comparación con otros tipos de discurso y conocimiento social. Como mostraban los datos recogidos por GIORDAN y DE VECCHI (1987), a los que nos hemos referido anteriormente, uno de los datos más reveladores del escaso éxito de la educación científica es que los alumnos apenas diferencian el discurso científico de otras formas de conocimiento de carácter para- o meta-científico. Quizá no sea extraño que, en una sociedad gobernada supuestamente por la racionalidad, la gente crea en los extraterrestres, los horóscopos y los curanderos, pero al menos desde el punto de vista de la educación científica sería relevante que los alumnos comprendan que esas creencias tienen una naturaleza distinta a la del discurso científico, que constituyen otra forma diferente de conocer el mundo y que sepan valorar las ventajas pero también los inconvenientes de la ciencia como forma de aproximarse al conocimiento del mundo. Por ello, construir una imagen de la ciencia requiere no sólo conocer los hechos, conceptos y principios que caracterizan a la ciencia, o la forma en que el discurso científico analiza la realidad, la estudia e interroga, sino también adoptar una determinada *actitud* en ese acercamiento y adoptar ciertos *valores* en su análisis, lo cual plantea dificultades de aprendizaje específicas, de las que nos ocupamos a continuación.