

INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS

LAS IDEAS ESPONTANEAS DE LOS ALUMNOS EN EL APRENDIZAJE
DE LAS CIENCIAS: EL CASO DE LA LUZ

JUAN DELVAL (*)

PARTE PRIMERA: LA LUZ

Los niños de hoy y los filósofos de ayer

Javier es un alumno medio que va a cumplir 12 años el mes próximo. Está terminando el 6.º curso de la EGB (1), apenas le quedan tres semanas de clase. Este año ha estado estudiando muchas cosas de física y entre ellas algunas acerca de la luz: naturaleza de la luz, propagación, reflexión, refracción, espejos, lentes, instrumentos ópticos. Como hemos hecho con otros muchos chicos de distintas edades, le preguntamos para tratar de averiguar sus ideas sobre la luz.

«¿Por qué vemos? *Por la luz, porque tenemos luz alrededor, si no hubiera luz, la luz de nuestros ojos no vería, aparte de estar todo oscuro. No habría luz en nuestros ojos.* —¿Qué quiere decir la luz de nuestros ojos? *Quiere decir que la luz de todo el aparato, porque si quitamos una parte no veríamos.* —¿Qué es eso del aparato? *Un aparato muy lioso de venas pequeñas, y la parte de fuera, la niña, lo que tenemos de color. Luego hay partes por dentro, las partes que te unen el ojo al resto del cuerpo, y la conjuntiva, que si no la tuviéramos no podríamos ver.* —¿Algo más? —*Si, pero no sé.* —¿Qué es eso de la luz? *Nuestro cuerpo tiene luz en los ojos, es decir, la luz que tenemos a nuestro alrededor, aparte de eso hay una luz que tenemos en los ojos, que es como si fueran rayos que nos permiten ver los colores.* —¿Cómo es eso? *El ojo envía unos rayos y vemos todo lo que hay alrededor, pero lo que tenemos detrás no lo podemos ver. Y estos rayos nos permiten ver los colores y lo que hay alrededor, la forma y el tamaño. (...)* —¿Entonces para ver necesitamos esto que sale de los ojos y la luz? *Sí, las dos cosas.*» Más adelante insiste en que los colores dependen de los rayos que

(*) Universidad Autónoma de Madrid.

(1) Este trabajo fue presentado en la Reunión del Consejo de Europa sobre «Investigación Educativa sobre el desarrollo infantil en la escuela primaria» («Educational Research Workshop on Child Development at Primary School»), celebrado en Madrid del 24 al 27 de septiembre de 1985. Hay una versión en inglés distribuida por el Consejo de Europa («Pupils Spontaneous ideas in the learning of the sciences: The case of light», Estrasburgo, DECS/Rech (85) 34), y otra en francés. Agradezco a Elena Martín y a Amparo Moreno la realización de las entrevistas con los niños y su participación en el trabajo.

despide el ojo, y asegura que una abeja vería un objeto verde *«de otro color, porque ella los rayos que despide son ultravioleta. —¿Los colores dependen de los ojos que los ven? Sí, de los rayos que despide el ojo. Los de la abeja son ultravioleta»*.

Parece que no hay duda, Javier está convencido de que para ver se necesita que los objetos estén iluminados, pero también una especie de luz que emiten nuestros ojos. Naturalmente esto no se lo han enseñado en clase, ni viene en el libro de texto, pero él lo cree firmemente y produce una curiosa mezcla con sus propias ideas y lo que le han enseñado, como se pone de manifiesto cuando habla de la visión ultravioleta de las abejas.

No todos los chicos de 11 años tienen las mismas ideas de Javier, o por lo menos no las expresan con tanta claridad como él, pero tampoco es la primera vez que las encontramos. Otros nos han dicho cosas muy parecidas expresadas de otra forma, pero siempre con el aspecto de que se trata de creencias elaboradas por ellos mismos.

Por ejemplo, Belén que tiene 11 años y 5 meses y cuando le hacemos las mismas preguntas nos dice:

«Cuando vemos la cortina, pues tienes que mirar a la cortina, la divisas, se cruza la vista con la cortina y la vemos. —¿Hay algo que sale de la cortina para que se cruce? No, la vista manda como unos rayos y se ve la cortina». Más adelante le volvemos a preguntar *«—¿Pero qué hace falta para ver? Los rayos de la luz y lo que sale del ojo»*. Y al terminar la entrevista le ponemos un plástico rojo transparente delante del ojo y le preguntamos *«—¿Qué ves con eso puesto en el ojo? Se ve rojo. —¿Por qué? Los rayos de la vista van hasta aquí (hasta el plástico), traspasan y se ve rojo.»*

Jorge, que tiene 7,8 años y está en 2.º, dice que el ojo tiene dentro una luz.

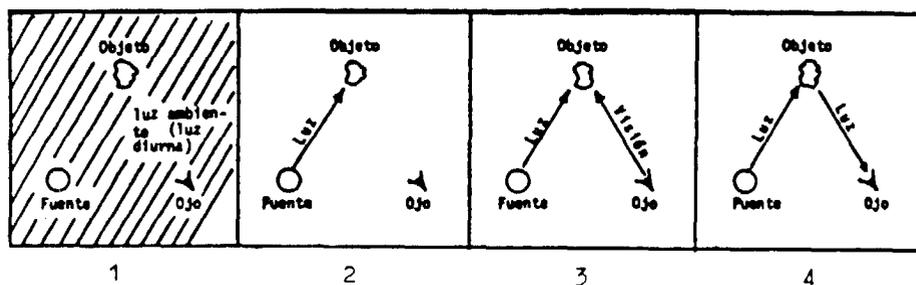
Estas respuestas no pueden considerarse como meras curiosidades que se les ocurren a los niños. En primer lugar, algunas explicaciones que parecen sumamente extravagantes, se repiten de unos niños a otros, y no sólo de los que nosotros hemos entrevistado. Por ejemplo, Tiberghien, Delacote, Ghiglione y Matalón (1980), y Tiberghien (1984), trabajando con niños franceses de 10-12 años han obtenido respuestas semejantes, y Guesne (1982), también con niños franceses de 13-14 años, encuentra resultados muy parecidos. Y lo mismo puede decirse de otros investigadores de otros países.

Pero, en segundo lugar, lo que resulta todavía más llamativo es que las ideas de Javier recuerdan poderosamente a las de Empédocles y otros filósofos y científicos griegos y esto parece más difícil de explicar. ¿Cómo puede explicarse que suceda una cosa así y qué importancia puede tener para el trabajo que se hace en las escuelas?

No resulta creíble que Javier, Belén y otros chicos que piensan estas cosas hayan leído a los autores griegos o que alguien se las haya enseñado. Lo más probable es que Javier y los que sostienen ideas parecidas las hayan formado ellos mismos y estas ideas resultan de un gran interés desde el punto de vista epistemológico y pedagógico.

Las ideas de los antiguos sobre la visión

En el interesante trabajo de Guesne (1982) sobre las ideas de los niños acerca de la luz se resumen al final las ideas infantiles sobre la percepción visual en cuatro diagramas. El 1 resume la idea de que no hay relaciones entre la fuente, el objeto y el ojo, simplemente coexisten. En el 2 se establece una relación entre la luz y el objeto, pero no con el ojo. En el 3 es necesario que la luz ilumine el objeto, pero es el ojo el que emite algo que permite ver el objeto. Por último el 4 establece la relación que se expone en los libros de física. Esta clasificación es muy útil como una primera aproximación a las ideas de los niños sobre esta cuestión, pero en realidad las cosas son más complejas y aparecen concepciones intermedias, y otras que no están recogidas ahí.



Los griegos se plantearon ya con toda claridad los problemas relativos a la luz y entre ellos los referentes a la visión. Como señala Ronchi (1956) en su historia de la luz (ver también Ferraz, 1974), la primera física griega abordó el problema desde la perspectiva del sujeto que conoce orientándose hacia cómo se ve. Pronto aparecieron diversas teorías para explicarlo. Todos reconocían la importancia del ojo para la visión, pero no se ponían de acuerdo sobre cómo se producía ésta. Simplificando mucho las cosas, puede decirse que para los **pitagóricos** el ojo emitía algo, un «fuego invisible», que llegaba a los objetos y nos permitía conocer las formas y los colores. Para los **atomistas** de la escuela de Demócrito son las cosas las que emiten «imágenes» que llegan hasta el ojo, pero esas imágenes son proyecciones corpóreas de los objetos. Para **Empédocles** de Agrigento hay dos emisiones, una de las cosas hacia el ojo y otra del ojo a las cosas y es la reunión de las dos la que hace que podamos ver. Esta idea fue adoptada también por Platón.

Aristóteles criticó profundamente las teorías anteriores, mostrando con claridad sus insuficiencias, pero la teoría que él formuló resultaba difícil de aceptar en ese momento. Según él, la visión se producía por una modificación del medio, del aire o del cuerpo diáfano, entre el ojo y el objeto. Pero esta idea, que podría anticipar quizá la concepción ondulatoria de Huygens, resultaba muy poco verosímil en ese momento y carecía de pruebas que la sustentaran. Por ello muchos científicos y filósofos posteriores a Aristóteles siguieron sosteniendo las posiciones anteriores. Como ha mostrado Lindberg (1976, 1978), el progreso vino de abandonar como tema central el de la visión para pasar a ocuparse de otros aspectos de la física de la luz, mientras se continuaban manteniendo las ideas anteriores sobre el mecanismo de la visión, aunque sin concederles dema-

siada importancia. Así Euclides seguía sosteniendo la teoría de Empédocles y Platón, pero se ocupaba sobre todo de la óptica geométrica, de la formación de imágenes y trataba de elaborar una teoría matemática de la perspectiva.

Las ideas de los antiguos tienen un gran interés para nosotros desde dos puntos de vista. Por una parte nos permiten entender cómo unos individuos, sin duda de notable inteligencia, se enfrentan con un problema y tratan de explicarlo. Tratan de salvar las apariencias con los elementos de los que disponen y hacen lo que pueden, llegando a la explicación más coherente con los elementos que tienen a su alcance. Por otra parte, las ideas que esos notables pensadores formularon de manera explícita y sistemática, aunque desgraciadamente en la mayor parte de los casos sólo nos hayan llegado de forma muy fragmentaria, nos sirven de guía y nos ayudan a entender lo que los niños nos dicen.

Esto es lo que nos sucedió, por ejemplo, con Ana que nos daba unas explicaciones fascinantes, pero difíciles de interpretar. Ana, que acaba de cumplir 14 años y que termina ahora la EGB, está en 8.º, tiene aparentemente las ideas muy claras sobre muchas cosas y usa con propiedad los conocimientos que ha adquirido en la escuela. Sin embargo, de sus explicaciones parece desprenderse una extraña y complicada teoría de la visión. Al preguntarle por qué un objeto se ve verde nos dice que porque absorbe todos los colores.

«menos el verde, que es el que nos refleja». Le preguntamos entonces «—¿Eso nos llega al ojo? *Sí.* —¿Cómo nos llega al ojo? *Porque la luz nos lo refleja.* —¿Entonces qué te llega al ojo? *El color... no, la imagen que nos trae la luz.* —¿La luz te llega al ojo? *No, nos llega la imagen del objeto.* —Pero ¿no llega luz? *No».* Entonces tratamos de aclarar su concepción de la visión y le sugerimos la teoría de la emisión por parte del ojo: «—Hay gente que dice que el ojo manda rayos al objeto. *Es mentira, nadie manda nada.* —Entonces ¿cómo es? *El color está ahí porque lo refleja, y tú, al ver la imagen, la ves de un color u otro. La luz no te la manda, la luz hace que la veas de otra forma.»* Más tarde insiste en negar que la luz llegue al ojo, aunque luego matiza esta idea: «—¿Al ojo llega algo? *Sí, llega la imagen. La luz transporta las imágenes.* —¿Nos llega luz al ojo? *Sí, pero no la cogemos, también la reflejamos.* —¿No entra en el ojo? *No, cuando ya la hemos analizado es como si la desechásemos.»* Y al preguntarle cómo funciona una máquina de fotos nos dice: «—*Una placa las imágenes las coge, como es oscura, las imágenes las puede coger.* —¿Las imágenes son algo que viaja? *Sí, viajan con la luz.* —Y entonces ¿entran en la máquina con la luz? *Sí.* —¿Se parece el funcionamiento al del ojo? *Sí, en que el ojo tiene la imagen también, como la máquina.»*

Para esta chica las imágenes son distintas de la luz. Quizá piensa que necesitamos la luz para ver las imágenes y la luz las transporta, pero son algo distinto. Las imágenes llegan ya hechas al ojo, no se forman en él. Nos lo había dicho al principio:

«—¿Cómo funcionan los ojos? Es como un espejo que refleja la imagen al cerebro, hay una retina que recoge la imagen y la manda, al revés, al cerebro, que la pone al derecho. (...) —¿Qué es lo que nos llega? El mundo exterior. —¿Y qué pasa en el ojo? Que lo analiza y busca lo que es y la relación que tiene contigo.»

Ontogénesis y filogénesis

Las explicaciones de Ana recuerdan a las de Leucipo de Mileto y los atomistas griegos que pensaban que los objetos nos envían una especie de imágenes, sombras o simulacros que nos aportan las características de los objetos (cf. Ronchi, 1956, página 6). Es quizá atrevido realizar esta interpretación de las ideas de Ana y posiblemente lo que ella sostiene no coincide exactamente con las ideas de los atomistas, pero en ciertas expresiones el paralelismo es cuanto menos llamativo. Por otra parte, Ana tiene detrás de ella 24 siglos de física que Leucipo no tenía y en sus explicaciones aparecen conceptos escolares que ella no ha elaborado, pero les está dando una forma propia y por ello lo que parece estar proponiendo es que los objetos nos envían imágenes, que no son la luz, y que ésta no es más que algo que se da concomitantemente y que sirve para el transporte de las imágenes.

Interpretar completamente ideas como las de Ana resulta extremadamente difícil, entre otras cosas porque sus ideas no tienen el grado de organización y de sistematicidad que tenían las de los filósofos griegos, que las habían elaborado coherentemente y las habían formulado para resistir las críticas de sus antecesores y sus contemporáneos, para servir de explicaciones alternativas a otras. Las de Ana no han tenido que resistir esas pruebas y por ello hay aspectos menos elaborados, pero muchas de las cosas que dice responden a la misma necesidad de explicación que las de los filósofos antiguos. De todas formas el que no podamos interpretar con toda seguridad las concepciones de cada sujeto no es un obstáculo esencial. Lo más importante es que encontramos tipos de respuestas que coinciden en lo esencial, a pesar de las diferencias entre los sujetos.

No pretendemos, sin embargo, defender de ninguna manera que la ontogénesis reproduzca la filogénesis, pero el paralelismo de las ideas de esos niños que mencionábamos antes y las de los pensadores griegos tiene que ser algo más que una pura coincidencia. Creo que ambas ponen de manifiesto de una manera muy hermosa la actividad de un individuo que sólo posee unos datos fragmentarios, una observación parcial y que no tiene o no puede utilizar toda la tradición cultural de la humanidad, y con esos elementos parciales tiene que dar cuenta de un fenómeno complejo. En esta similitud de situación está el parentesco que las explicaciones guardan entre sí y no en ninguna supuesta recapitulación (2).

El alcance del paralelismo es, sin embargo, limitado y, como justamente señalan Saltiel y Viennot (1985), hay que tratarlo con mucha precaución y no esperar encontrar una correspondencia exacta. Pero nuestro conocimiento de la historia nos puede ser de utilidad para interpretar las ideas de los alumnos y el estudio de éstas puede contribuir a reactivar el interés por la historia de la ciencia.

Otras ideas sobre la luz

Nos hemos referido al tema de la luz, porque nos parece un ejemplo muy hermoso de cómo los niños comprenden la enseñanza científica. De otros fenó-

(2) Piaget en sus obras sobre la representación del mundo y la causalidad física en el niño (1926, 1927), ya había señalado el parentesco entre ciertas explicaciones infantiles y concepciones aristotélicas. En su obra póstuma con R. García dedicada a este tema (Piaget y García, 1983), sostiene que la comparación hay que establecerla más que sobre el contenido de las nociones sobre los instrumentos y los mecanismos comunes de la construcción, y que los mecanismos de paso de un período histórico al siguiente son análogos a los del paso de un estadio psicogenético al siguiente.

menos físicos, químicos o biológicos los niños tienen una experiencia mucho menor, o son mucho más complejos, no ya de entender sino de observar. La luz y los fenómenos luminosos son cuestiones con las que el niño está en contacto directo desde que nace y que, por tanto, le resultan familiares por su propia experiencia, pero también constituyen un tema de estudio dentro de la escuela. Los textos escolares, desde los primeros cursos, se ocupan de la luz, que quizá sea uno de los primerísimos temas científicos que se tratan en la enseñanza. Pero, a pesar de ello, las ideas de los chicos que terminan la EGB se alejan mucho de lo que se les está enseñando. ¿A qué se debe esto?

Entre nosotros, y en otros países sucede algo parecido, desde los primeros niveles de la enseñanza se empiezan a transmitir a los niños ideas acerca de la luz. Si examinamos los libros de texto, que a veces reflejan con más exactitud lo que se enseña que los programas escolares, encontramos ya en primero y segundo de la enseñanza básica explicaciones acerca del día y la noche, la luz natural y la luz artificial y sobre la necesidad de la luz para la visión y para la diferenciación de las formas y los colores. A partir del quinto año es cuando la enseñanza se hace más sistemática y ya se enseñan multitud de conocimientos acerca del ojo y sus partes, del mecanismo de la visión, y de toda la física relativa a la luz, incluyendo reflexión, refracción, lentes e incluso explicaciones acerca de la luz como forma de energía. En sexto y séptimo todas esas nociones tan complejas se repiten y se amplían. Así pues, a los chicos se les transmite una montaña de conocimientos acerca de la luz. Lo que no parece tan claro es que sean capaces de incorporarlos y entenderlos.

El problema es que muchas cosas que se dan por supuestas y que parecen obvias para los alumnos no lo son. Por ejemplo, para los adultos resulta evidente que la luz es una condición necesaria para la visión. Pero para muchos niños no lo es y no se refieren a ello cuando les preguntamos. Como se desprende del esquema 1 de Guesne la luz está en el ambiente, pero no tiene un papel explícito en la visión. Su necesidad se acepta cuando preguntamos directamente por su papel, pero no lo dicen por sí mismos. La primera respuesta, cuando preguntamos qué hace falta para ver, es referirse a los ojos y así nos lo dicen la mayoría de los chicos de muchas edades «Tener bien abiertos los ojos». Para que aparezca la referencia a la luz es frecuente tener casi que sugerirlo y preguntar si vemos por la noche o cuando entramos en un túnel oscuro. Pero la respuesta de la luz parece tan obvia que a muchos no se les ocurre mencionarla.

La experiencia común de todos nosotros es que el ojo tiene un papel activo para ver las cosas. Muy frecuentemente más que ver miramos y muchas veces no reconocemos las cosas aunque tengamos la vista dirigida hacia ellas, porque no las estamos mirando. Así pues, la experiencia subjetiva apunta a que el acto de ver es claramente intencional. Esto ayuda a entender las teorías antiguas, en algunas de las cuales se hace explícitamente referencia a ese carácter intencional de la visión, como cuando Teón de Alejandría, en su comentario de Euclides, señala que a veces tenemos una aguja a nuestros pies y no la vemos aunque estamos mirando para allí, o no vemos todas las letras cuando miramos una página de un libro (cf. Ronchi, 1956, página 14). Por otra parte, los niños tienen tendencia a explicar las cosas por su propia actividad. Es normal, pues, que atribuyan especial importancia al ojo.

El tema de las condiciones externas que hacen posible la visión apenas se trata en la enseñanza. Pese a su complejidad, se da por supuesto que los alumnos

lo entienden perfectamente y no se insiste en él, se supone que los alumnos comprenden cómo nos llega la información al ojo. Pero resulta que este y otros aspectos de la visión resultan casi incomprensibles para los alumnos, como se pone de manifiesto en sus explicaciones.

Por ejemplo, muchos chicos tienen ideas sorprendentes acerca de dónde hay luz. Para ellos, la luz sólo está en las fuentes de luz, en el sol, en las bombillas. Fuera de las fuentes de luz no hay luz, es decir, la luz no ilumina los objetos, y por supuesto, esa luz no llega ni a las cosas ni a nuestro ojo. Tiberghien *et al.* (1980) encuentran esta respuesta muy extendida. Guesne (1982) presentaba a sus sujetos una barra de incienso encendida y les preguntaba si enviaba alguna luz. Muchos sujetos (de 13 y 14 años) afirmaban que no enviaba nada, o todo lo más que la luz se aleja un poco de la barra, pero que desde luego no llega al ojo.

Hay otros muchos aspectos de las ideas infantiles sobre la luz que habría que mencionar. Por ejemplo, la mayoría de los chicos defienden que la luz se propaga en línea recta, pero un sujeto lo negaba señalando que en la esquina de la habitación, alejada de la ventana y a donde los rayos de sol no llegan directamente, sin embargo había luz, y debajo de la mesa pasaba lo mismo. Estas contestaciones son interesantes pues muestran cómo el sujeto utiliza los datos de que dispone para explicar un fenómeno. Al no saber nada de la reflexión de la luz no puede explicar el fenómeno de otra forma. Patricia (9,9) explica que la luz en general va recta, pero, a veces, hace zig-zags y lo pinta, aclarando que quizá «*cuando está dada toda la luz (es decir cuando hay mucha luz) a lo mejor gira (y se ve mucho por todas partes)*».

Otros niegan que tarde tiempo en trasladarse, también a partir de su experiencia directa, aunque el tema de la velocidad de la luz es uno de los preferidos en los textos. Pero incluso conceptos aparentemente claros y que no parecen presentar dificultades especiales son entendidos de forma pintoresca hasta por sujetos mayores. Así Ana (14,0), cuando le preguntamos ¿qué son los rayos?, de los que nos ha estado hablando espontáneamente, y al parecer con claridad, nos contesta: «*Es como la autopista que trae la luz*», y diferencia entre rayos y luz, cosa que también se encuentra en otros chicos y que sugiere alguno de los sujetos de Guesne.

El problema de por qué vemos las cosas de colores tiene también un extraordinario interés. Para la mayor parte de los sujetos la pregunta les produce sorpresa por lo obvia: una cosa verde se ve verde porque la han pintado de verde. Los mayores empiezan a dar explicaciones producto de la enseñanza escolar, pero a menudo sin mucho éxito. Por ejemplo, María (13,0) dice que un pantalón se ve azul porque la luz rechaza todos los colores menos el azul, pero no es capaz de explicar qué significa que los rechaza (3).

¿Qué es lo que pasa cuando el niño recibe el conocimiento escolar? Imaginemos que le estamos explicando la reflexión de la luz. Se le habla del ángulo

(3) El problema de los colores tiene un enorme interés desde todos los puntos de vista y puede constituir un excelente tema de trabajo dentro del aula. Pero a pesar de su importancia en el arte, en la vida práctica, y de su interés científico, apenas se le presta atención en la enseñanza, cuando además ofrece espléndidas posibilidades de trabajo experimental. Es un ejemplo más de cómo una enseñanza calcada sobre lo que se considera el *corpus* consagrado de la disciplina, desdeña temas de carácter interdisciplinario y que tienen un gran valor formativo.

de incidencia y del ángulo de reflexión, se le muestran diagramas, pero no se intenta relacionar el problema con su experiencia y lo que sucede es que no entiende, y sobre todo no es capaz de integrar lo que se le enseña. Y naturalmente, si no es capaz de entender que los objetos reflejan parte de la luz que reciben y absorben otra, es difícil que entienda cómo se produce el mecanismo de la visión, la percepción de los colores y buena parte de los fenómenos que estudia la óptica. El grave error es dar por supuesto que los alumnos entienden las cosas como vienen en los libros de física.

PARTE SEGUNDA: COMO MEJORAR LA ENSEÑANZA

La transmisión de conocimientos

Todo lo anterior tiene la mayor importancia desde el punto de vista de la enseñanza que se proporciona en las escuelas, y vamos a dedicar esta segunda parte a las consecuencias que puede tener sobre las formas de enseñanza.

Se habla mucho, desde hace ya años, de la crisis de la enseñanza y del fracaso escolar, y resulta un tópico decir que la enseñanza se deteriora, mientras se realizan estudios y se convocan reuniones de expertos para tratar de resolver esta situación. No vamos a entrar a discutir esas cuestiones polémicas, que pueden interpretarse de distintas maneras, pero lo que resulta evidente es que los chicos sólo aprenden una mínima parte de lo que se les enseña en la escuela. Si medimos el valor de la enseñanza por lo que los chicos aprenden y la utilización que son capaces de hacer de ello, el resultado no puede ser más deplorable.

La insuficiencia de la enseñanza actual de las ciencias se manifiesta de múltiples maneras, entre las que podemos mencionar las siguientes:

- a) Los alumnos no aprenden los conceptos fundamentales de las ciencias.
- b) No son capaces de explicar los fenómenos cotidianos.
- c) No entienden el funcionamiento de las máquinas que se apoyan en principios de la ciencia que los niños están estudiando.
- d) Además de todo eso, ni se divierten ni se interesan por lo que les enseñamos.

El que esto sea así no es un azar y se debe, sin duda, a la forma de enseñanza en las escuelas, producto de su evolución histórica (4). Aunque inicialmente la escuela obligatoria no era una institución que tuviera como misión fundamental transmitir conocimientos, sino normas y valores, poco a poco se le ha ido añadiendo cada vez más esa función y hoy mucha gente espera de ella que sirva sobre todo para enseñar cosas. Y lo que sucede es que no está preparada para ello por su historia. Por eso no resulta extraño que su rendimiento, desde ese punto de vista, sea escaso. La organización de la escuela está establecida sobre todo para fomentar la sumisión a la autoridad representada por el maestro y por el saber fijado en los libros. En definitiva lo que se aprende en ella es a reproducir lo que se dice allí.

(4) Por ello la eficacia de la escuela tradicional no puede medirse por el aprendizaje de los contenidos que en ella se transmiten pues la función de la escuela no ha sido esa en sus orígenes, y arrastra un pesado lastre de su historia pasada, como he tratado de mostrar en mi libro *Creecer y pensar* (Delval, 1983).

Se intenta entonces reconvertir la escuela en una institución que transmita conocimientos y que cada vez transmita más. Y esto se pretende conseguir simplemente cambiando y aumentando los contenidos escolares, pero no modificando sustancialmente la forma de enseñar, ni la organización de la escuela. El resultado es que los sujetos aprenden algo más, pero muy poco en relación con lo que se les enseña y lo que se pretende que aprendan.

Una teoría constructivista de la formación de los conocimientos

En efecto, la manera más inmediata que se ha utilizado para mejorar el aprendizaje escolar ha sido aumentar los conocimientos transmitidos. Es un hecho, que no escapa a la observación más superficial, que cada vez aumenta el contenido de los programas escolares. En España, desde las viejas enciclopedias que se utilizaban durante varios años y que cubrían todas las materias, hasta los actuales libros de texto, los contenidos han aumentado de una manera prodigiosa, aunque en los últimos años parece observarse una detención de esta tendencia, y creo que lo mismo ha sucedido en otros países. Sin embargo, si se ha detenido el crecimiento de los contenidos dentro de cada materia, no ha sucedido lo mismo con el número de materias, y hoy observamos la tendencia a incluir como nuevos contenidos la informática, la educación para la salud, la educación para la convivencia y los derechos humanos, la educación vial, la educación para el consumo, etcétera, etcétera, aunque a veces se presente de forma disfrazada.

En el caso de la enseñanza de las ciencias, es cierto que ha habido una serie de cambios en los métodos de enseñar y se ha pasado por una serie de etapas, desde los primitivos **métodos verbales** (que todavía se siguen empleando), las **lecciones de cosas**, los **métodos experimentales** y el trabajo de laboratorio, hasta la llamada enseñanza basada en el **método científico** (cf. Delval, 1985). Pero ni los más recientes de estos sistemas se han generalizado, ni han servido para resolver los problemas.

Creo que todas las modificaciones que se han producido en la enseñanza de las ciencias, —y posiblemente pueda decirse lo mismo de todas las materias— se han centrado en la disciplina que se intenta enseñar y no en el alumno que aprende, y el énfasis se ha puesto siempre en los conocimientos, y no en los efectos que éstos producen en el sujeto. Es decir, que la enseñanza se ha despreocupado del sujeto que aprende. Como consecuencia de ello se olvida que el alumno es un sujeto en desarrollo que tiene que formar sus estructuras intelectuales al tiempo que sus conocimientos.

Aunque resulta arriesgado generalizar, y pueden siempre aducirse situaciones o prácticas que aparentemente se salen de este esquema, puede decirse que las distintas formas de enseñanza han tendido siempre a transmitir la ciencia desde la perspectiva del adulto. Esto se pone de manifiesto al analizar los contenidos escolares. Cuando examinamos lo que se estudia acerca de la luz en la EGB vemos que no hay muchas diferencias ni en los contenidos, ni en la forma de presentación frente a lo que se estudia, por ejemplo, en el primer año de la universidad, simplemente se enseña un poco menos y con un lenguaje un poco más sencillo.

Naturalmente puede preguntarse ¿y qué tiene esto de malo? o ¿podría hacerse de otra manera? y ¿qué ventajas tendría? En mi opinión la respuesta es que

el fracaso de la enseñanza científica, y de la enseñanza en general, se debe precisamente a eso.

Durante la primera mitad de este siglo las dos tendencias dominantes en la psicología del desarrollo han tenido en común desentenderse de lo que pasaba dentro del sujeto. Una corriente se ha interesado sobre todo por medir al sujeto, por determinar qué conocimientos tenía, estableciendo instrumentos de medida y normas sobre lo que cada sujeto debía hacer o saber a cada edad. Otra corriente, la conductista, que creía sobre todo en la influencia de los factores ambientales sobre la determinación de la conducta, se ha preocupado de delimitar las condiciones exteriores que determinan el aprendizaje: la presentación del material, la distribución de reforzadores extrínsecos, etcétera. Una consecuencia de ello ha sido la enseñanza programada, que tanto éxito tuvo hace algunos años, y su influencia se dejó notar también sobre los proyectos de enseñanza de las ciencias de los años 60.

Sólo algunas corrientes psicológicas, originadas en los años 20 de este siglo, pero que han tardado en difundirse, han prestado más atención a lo que sucede en el sujeto que aprende, y entre ellas hay que destacar los trabajos de Werner, Wallon, Vygotsky y Piaget, todos los cuales han trabajado en el terreno de la psicología del desarrollo. Sobre todo el trabajo de Piaget, el más extenso y sistemático, nos ha permitido ver con una nueva luz cómo se construyen los conocimientos al tiempo que se produce el desarrollo psicológico. Como es bien sabido, Piaget ha estudiado en detalle la formación de algunas nociones científicas en el niño, y sobre todo ha insistido en el papel activo del sujeto en la construcción de los conocimientos.

Desde otro punto de vista, y originándose sobre todo en la crítica de las posiciones conductistas, y en la comparación entre el ordenador y la mente humana, la psicología cognitiva, ha puesto el énfasis también en el estudio del sujeto, señalando la necesidad de estudiar el camino y las condiciones que permiten producir una conducta y mostrando la insuficiencia de estudiar sólo la conducta producida. Esto ha abierto una amplia vía para la comprensión de la conducta humana. Gracias a las teorías constructivistas, se ha empezado a prestar atención al sujeto que aprende.

El énfasis en la génesis del conocimiento

Estos progresos en la comprensión de la conducta humana y de los mecanismos de formación de nuevos conocimientos abren espléndidas perspectivas para mejorar la enseñanza escolar. Aunque apenas hemos iniciado el proceso de modificación de la actividad escolar hay una conciencia mucho mayor sobre la importancia que tiene la actividad del sujeto. Aparte de los trabajos de Piaget y su escuela, en los últimos diez años han empezado a realizarse estudios sobre las ideas de los niños en torno a ciertas nociones científicas y tiende a imponerse la idea de que el niño construye sus propias nociones que no coinciden con las de los adultos, ni con lo que se le transmite directamente, y que conocer eso tiene la mayor importancia para la organización de la actividad escolar.

Esta idea fue defendida con vigor por A. Giordan en el «Educational research workshop on computers and science in primary education», organizado por el Consejo de Europa y celebrado en Edimburgo del 3 al 6 de septiembre

de 1984 (Giordan, 1984), y en otros trabajos anteriores. La idea básica es que el niño tiene sus propias ideas y que la enseñanza de las ciencias no puede ignorar esas concepciones sino que debe interactuar con ellas. Afortunadamente, el número de trabajos que estudian las concepciones de los niños va aumentando y el tema está cobrando y va a cobrar una gran importancia en el futuro. El mismo Giordan menciona en su trabajo algunos de esos estudios.

¿Qué podemos hacer?

Creo que una enseñanza que pretenda estar a la altura de las necesidades actuales tiene que tener muy en cuenta todo el proceso de formación de las nociones por parte de los sujetos, para lo cual es preciso realizar estudios acerca de cómo construye el niño las nociones en los distintos campos de la ciencia. Se trata de disponer de un conocimiento lo más adecuado posible de la representación que el niño hace de los conocimientos científicos y de cómo explica los fenómenos que le rodean.

Hoy se ha avanzado en la conciencia de la importancia que tiene este conocimiento para fundamentar sobre él una enseñanza de las ciencias más adecuada. Tenemos ya un cierto conocimiento global de las concepciones de los niños que podemos llamar espontáneas (aunque no lo sean estrictamente) en diversos campos, mecánica, calor, óptica, algunas nociones biológicas, etcétera, pero nos queda mucho por hacer todavía en este terreno. Sería preciso realizar un microanálisis de las concepciones de los chicos, tratando no sólo de tener un catálogo de sus opiniones, sino de entender cuál es su origen. Esto exige un trabajo laborioso que requiere realizar entrevistas individuales a los sujetos y otras formas de investigación que son muy costosas en tiempo. Y no basta con estudiar esas ideas en abstracto, sino que hay que considerar su interacción con las enseñanzas escolares, porque tampoco podemos caer en el extremo opuesto de suponer que lo que se enseña no tiene ningún efecto (5).

Como he venido diciendo creo que lo más importante es invertir el énfasis y pasar de centrarse sobre los conocimientos a ocuparse primordialmente del alumno y de lo que pasa dentro de su cabeza. La enseñanza debe seguir entonces el proceso natural por el que los alumnos aprenden fuera de la escuela y por ello debe tener algunas características como las siguientes:

—El alumno forma sus conocimientos a partir de su experiencia propia y a través de lo que se le transmite por diversos conductos. En cada etapa del desarrollo y de acuerdo con su capacidad de interpretar lo que le rodea, el niño se interesa por distintos fenómenos de su entorno. La enseñanza de las ciencias debe partir de **problemas que interesen al alumno**, sin tener que limitarse a ellos, pues a partir de ahí se pueden ir planteando otros más alejados.

—Adoptar ese punto de partida supone una enseñanza de la ciencia centrada en la **explicación de los fenómenos** y no en la transmisión de los resultados,

(5) Hemos realizado un estudio sobre cómo entienden los niños los conjuntos y otras nociones matemáticas que se les enseñan en la escuela. Como es bien sabido los niños desde los 7-8 años poseen notables capacidades para hacer clasificaciones, pero en cambio su comprensión de las nociones sobre los conjuntos, que en última instancia lo que suponen es tomar conciencia de lo que son capaces de hacer, son muy pobres y muy alejadas de lo que se pretende que aprendan.

es decir, una ciencia haciéndose y no una ciencia terminada que sólo hay que aprender. Hay que subrayar con vehemencia la capacidad explicativa de la ciencia y su relación con nuestra propia vida.

—Para conseguir lo anterior es preciso hacer una **ciencia basada en la experimentación**, pero no simplemente ilustrada con experimentos, como sucede a menudo cuando en la actualidad se intenta hacer una ciencia experimental.

—Debe ser una ciencia muy **vinculada con la tecnología**, con la fabricación de máquinas y con la explicación del funcionamiento de las máquinas de nuestro entorno.

—En el aprendizaje hay que utilizar los *errores y las dificultades* del alumno. Cuando encontramos un error, y sobre todo un error sistemático o un error coherente y elaborado, es que detrás hay una creencia del alumno que puede estar muy fuertemente arraigada. Lo que no debemos hacer entonces, en ningún caso, es intentar prescindir de ese error simplemente suministrando la explicación que se considera correcta, pensando que el alumno la va a ver como tal inmediatamente. Lo que hay que intentar presentar son las insuficiencias de la explicación anterior y las ventajas de la que se propone, mostrando lo que antes no se podía explicar.

—Por último no debe olvidarse un principio general y es que **el maestro no enseña, y lo único que puede hacer es poner las condiciones para que el alumno aprenda**, para que construya sus propios conocimientos.

Llevar a cabo todo esto no es una tarea sencilla y hay muchos obstáculos que se oponen a ello. Nuestra ignorancia sobre cómo forma el niño sus conocimientos no es más que un aspecto y posiblemente no el más difícilmente superable. *Lo más difícil es llevar este nuevo espíritu a las aulas y transformarlo en práctica educativa.* A esto se oponen diversos factores.

—Hay que convencer a los administradores y a los responsables de la política educativa de la necesidad de cambiar la educación y que esos cambios no consisten en sustituir unos programas por otros o en cambiar los contenidos, sino en modificar la actividad educativa que se realiza en las aulas. Desde la administración no se puede cambiar la educación, pero se pueden tomar medidas que faciliten los cambios.

—La modificación más difícil hay que hacerla con los profesores, y también con los padres y con el resto de la sociedad. Pero si queremos que los profesores inicien otra forma de trabajo no sólo debemos convencerles de ello, sino que tenemos que suministrarles los elementos para que lo hagan. Naturalmente el tipo de materiales requeridos no puede reducirse a exposiciones sobre cómo debe enseñarse, sino que debe consistir en modelos de formas de realizar el trabajo, es decir, de cómo pueden crearse situaciones en las que el alumno aprenda, teniendo en cuenta sus ideas (6). Aquí sí que la intervención de la administración puede ser importante, facilitando la realización del trabajo de investigación de base,

(6) En este sentido iniciamos un trabajo, al que denominamos «La formación del espíritu científico en el niño», realizado con el apoyo de la UNESCO y del Ministerio de Educación y Ciencia español, consistente en elaborar materiales destinados al trabajo en el aula realizados de acuerdo con los principios enunciados anteriormente. Hemos trabajado sobre «el calor», «la luz y el color», y «el crecimiento», y han colaborado Elena Martín, Amparo Moreno y diversos profesores de ciencias. El presente trabajo se apoya en ese proyecto.

haciendo posible el desarrollo de experiencias en las aulas, publicando materiales de ese tipo y apoyando la difusión de los materiales entre los profesores.

La tarea es muy compleja y larga y no puede esperarse realizarla en poco tiempo. De lo que se trata es de crear nuevas formas de trabajo y por tanto nuevas relaciones dentro del aula. Esto, en definitiva, lo que supone es cambiar la escuela.

REFERENCIAS

- Delval, J.: *Crecer y pensar. La construcción del conocimiento en la escuela*. Barcelona: Laia, 1983.
- Delval, J.: «La enseñanza de las ciencias desde la perspectiva del que aprende». En: *La nueva enseñanza de las ciencias experimentales*. Madrid: Servicio de Publicaciones del MEC, págs. 101-115, 1985.
- Ferraz, A.: *Teorías sobre la naturaleza de la luz*. Madrid: Dossat, 1974.
- Giordan, A.: «Les processus d'apprentissage (et les obstacles à ceux-ci) des élèves de 6 à 14 en science». Strasbourg: Conseil de l'Europe. DECS/Rech (84) 33, 1984.
- Guesne, E.: «Ideas de los niños sobre la luz». Comunicación presentada en el «Curso internacional sobre enseñanza de la física». Cali, Universidad del Valle. Publicado bajo el título «Children's ideas about light», en *New trends in physics teaching*, vol. IV. París: UNESCO, 1982.
- Lindberg, D. C.: *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*. Chicago, 1976.
- Lindberg, D. C.: «The science of optics». En: Lindberg, D. C. (ed.). *Science in Middle Ages*. Chicago: The University of Chicago Press, págs. 338-367, 1978.
- Piaget, J.: *La représentation du monde chez l'enfant*. París: Alcan, 1926.
- Piaget, J.: *La causalité physique chez l'enfant*. París: Alcan, 1927.
- Piaget, J. & García, R.: *Psychogénèse et histoire des sciences*. París: Flammarion, 1983.
- Ronchi, V.: *Histoire de la lumière*. Traduit de l'italien par J. Taton. París: A. Colin, 1956.
- Saltiel, E. & Viennot, L.: «¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?». *Enseñanza de las ciencias*, 3, págs. 137-144, 1985.
- Tiberghien, A.: «Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière pour les élèves de 10 à 16 ans». En *Récherche en didactique de la physique: Les actes du premier atelier international*. París: CNRS, 1984.
- Tiberghien, A.; Delacote, G.; Ghiglione, R. y Matalon, B.: «Conception de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans». *Revue Française de Pédagogie*, 50, págs. 24-41, 1980.