

Algunas reflexiones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la Física y de la Química

Antonio de Pro Bueno

Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia

1. ¿Existen problemas con la enseñanza de la Física y de la Química?

Recientemente la Comisión de Educación, Cultura y Deporte del Senado encargó un informe sobre la situación de las enseñanzas científicas en la Educación Secundaria (Boletín Oficial de las Cortes Generales, 2003). Quizás, lo primero que llama la atención es que, entre los veinticuatro ponentes, sólo aparecían tres profesores de Educación Secundaria y ningún especialista en Didáctica de las Ciencias Experimentales; todos los demás eran catedráticos universitarios, miembros del CSIC, académicos

de Reales Sociedades Españolas de las Ciencias, etc. Sin cuestionar por supuesto la capacidad de estos autores, creemos que, para hablar de la situación de la enseñanza de la Física o de la Química o las necesidades que tiene el profesorado de estos niveles, se podría haber escuchado directamente -y no a través de otros- las opiniones, las experiencias, los datos y los argumentos de los profesionales implicados en estos temas. No obstante, más allá de la elección de los ponentes, de algunos diagnósticos y análisis poco rigurosos, de paralelismos

neoliberales desafortunados o de juicios de valor discutibles, el hecho pone de manifiesto la evidente crisis que tiene la enseñanza de las ciencias (y, en particular, de la Física y Química) en la educación formal.

A pesar de todo, se aportan datos interesantes sobre posibles causas de la situación: la reducción paulatina de la carga lectiva en los programas oficiales, la evaluación conjunta de materias sin distinguir las disciplinas científicas

unos rendimientos tan penosos en las Olimpiadas Internacionales de Física y de Química.

Desde luego creemos que el problema es complejo y, como tal, las soluciones simplistas suenan a desconocimiento o a osadía. Así, encontramos que uno de los ponentes propone ampliar de forma descabellada la cantidad de contenidos de Física y Química en el Bachillerato y otro reclama el retorno a lo cuantitativo, lo formal, el conocimiento y el estudio personal frente a lo cualitativo, lo divulgativo, la actitud o la actividad grupal. Da la impresión que, en los temas educativos, las aportaciones de la investigación son inconsistentes o simplemente

Da la impresión que, en los temas educativos, las aportaciones de la investigación son inconsistentes o simplemente innecesarias

que las integran, la promoción del alumnado sin alcanzar los niveles mínimos, la competencia desleal de otras asignaturas (en las que aprobar resulta más fácil o que se han apoyado políticamente a costa de éstas), el insatisfactorio tratamiento de temas como la emigración o la atención a la diversidad, las deficiencias en los programas de formación inicial del profesorado, etc. Incluso, en relación con los *buenos alumnos*, se preguntan cómo es posible que tengan un índice de fracaso tan alto en los primeros cursos universitarios o

innecesarias.

Hemos de recordar —por si alguno no lo sabe— que, en otros contextos europeos, la situación no es mucho más halagüeña; de hecho, faltan profesores de estas asignaturas, se organizan campañas de captación de alumnos y alumnas para que estudien Física o Química, o se realizan reuniones internacionales para analizar la situación (Merino, 2002). ¿Tendrán una LOGSE para echarle la culpa de todo lo que está sucediendo?

2. ¿Qué contenidos de Física y de Química debemos enseñar?

La inclusión de la Física y de la Química en el currículum, desde los primeros niveles del sistema educativo, se ha justificado por diversos motivos: contribuciones al desarrollo de determinadas capacidades y potencialidades que tienen los seres humanos; necesidades de un contexto social donde cada vez existe una mayor dependencia de la ciencia y la tecnología; el reto, para una sociedad democrática, de que los ciudadanos tengan conocimientos científicos y técnicos suficientes para tomar decisiones reflexivas y fundamentadas sobre temas de incuestionable trascendencia; la creencia de que es imprescindible una participación activa y consciente en la conservación del medio y el desarrollo sostenible...

Estas -y otras contribuciones que pueden añadirse- son compartidas *teóricamente* por gran parte de los profesionales implicados en la educación (diseñadores del currículum, profesorado, especialistas, etc). Sin embargo, la aparente homogeneidad existente en estos objetivos se torna en heterogeneidad cuando debemos concretar qué contenidos debemos impartir para el logro de las mencionadas intenciones educativas o debatir sobre qué utilidad tienen los conocimientos que enseñamos para los estudiantes, cuando estos salen del aula.

Para encontrar respuestas fundamentadas a qué enseñar una de las fuentes puede ser la propia historia de la Física y de la Química. De hecho, hay traba-

jos (Wojtkowiak, 1987; González, 1996; Pro y Saura, 2001...) que han discutido qué ámbitos de la investigación han sido prioritarios en estas materias a lo largo del siglo XX. En un resumen obligadamente limitado podemos señalar:

- *La Teoría de la relatividad.* Desmantela la mecánica newtoniana (ningún cuerpo puede superar la velocidad de la luz en el vacío, la masa no es un invariante, puede existir la transformación masa-energía, aparece el espacio de cuatro dimensiones, la contracción espacial y la dilatación espacial) y da respuesta a

Para encontrar respuestas fundamentadas a qué enseñar una de las fuentes puede ser la propia historia de la física y de la química

hechos inexplicables hasta ese momento: la precesión de la órbita de Mercurio, la no-curvatura de la propagación de la luz por efectos de la gravedad y el desplazamiento al rojo de la luz que sale de un objeto de una gran masa por su transformación en energía (que facilita la conexión entre los campos gravitatorios y electromagnéticos).

- *La Teoría cuántica.* Introduce la idea de cambios discontinuos en la materia y, con ello, aparecen otros modelos interpretativos de la materia (modelo atómico, características de las partículas elementales, radioactividad, números cuánticos, teorías del enlace, principio de incertidumbre,

ecuación de ondas...). También hace posible el descubrimiento de nuevas partículas (neutrón, positrón, muón, neutrinos, mesón, pión, quarks...) y la creación de grandes proyectos e instalaciones (aceleradores de partículas), respaldados por grandes inversiones económicas.

- *La Astrofísica.* Gracias al progreso técnico en la construcción de telescopios, se descubren novae y su velocidad de alejamiento y aproximación a la Tierra; también se localizan las enanas blancas y las gigantes rojas, los pulsares, los cuasares, los agujeros negros...; paralelamente a estos avances aparecen las teorías sobre la formación del universo. Con el lanzamiento del primer Sputnik en 1957, la llamada *conquista del espacio* dejó de ser una especulación literaria; la llegada a la Luna o la construcción de plataformas como la Mir han favorecido inversiones importantes y un gran desarrollo científico y tecnológico.

- *La Electrónica:* Nacida a comienzos de siglo, se ha impulsado con la aparición de diodos, transistores, circuitos impresos e integrados, sistemas digitales...; paralelamente se han sucedido los estudios sobre materiales (cristales líquidos, superconductores, fibras ópticas...). Todo ello ha hecho posible la creación de aparatos tan familiares como la radio, la televisión, los equipos de música, los teléfonos móviles, los ordenadores... Por muy fantásticas que sean algunas

creaciones literarias sobre el tema, el futuro en este campo está por escribir.

- *La Química industrial.* A lo largo de este siglo, se han producido avances espectaculares en la fabricación de compuestos nitrogenados, polímeros y materiales plásticos, fibras sintéticas, colorantes, y productos farmacéuticos y medicamentos, lo que ha influido en la modernización de la química industrial. Pero, sobre todo, se ha impulsado la investigación en los carburantes (petróleo, gas natural, hidrocarburos etilénicos...), motivada por razones aceptables (el propio

Pero, si estos interrogantes resultan complicados con un sólo referente -la ciencia- la selección de contenidos se complica mucho más con la presencia de otras consideraciones: ¿qué puede aportarnos una visión multicultural de los conocimientos? (Membiela, 1999); ¿es posible poner la ciencia al alcance de los que no tienen preparación científica? (Vázquez, 1999); ¿a qué problemas reales deben hacer frente los ciudadanos a corto y medio plazo (Gil et al., 2000)?; ¿qué se está modificando en los programas ante la aparición de fenómenos sociales como, por ejemplo, la emigración? (Benarroch, 2001); ¿qué se puede hacer académicamente ante

res culturales deseables -que no siempre coinciden con los reales- en este ámbito del saber. Con este marco de referencia creemos que hay que enseñar conceptos como la velocidad, la corriente eléctrica o el mol, o iniciarles en las leyes de la conservación de la masa en las reacciones químicas o de propagación de las ondas en los fenómenos de reflexión y refracción... Pero también se deberá dedicar tiempo a enseñar al alumnado a reconocer hechos y fenómenos, a observar, a medir, a analizar situaciones de la vida cotidiana, a realizar predicciones y emitir hipótesis, a inferir conclusiones coherentes con los datos, a identificar ideas en un material

Cuando hablemos de dificultades de aprendizaje no sólo nos deberíamos referir al conceptual sino también al procedimental y al actitudinal

desarrollo de la industria) y otras no tanto (consecuencias de conflictos sociales y económicos).

Obviamente, resulta impensable trasladar, sin más, los temas mencionados a estas etapas educativas. Pero, si admitimos que el panorama de nuestras disciplinas ha cambiado en los últimos cincuenta años, cabe preguntarse: ¿deben cambiar también los conocimientos científicos que se deben compartir con el alumnado en la educación obligatoria?; ¿debemos seguir enseñando los contenidos de siempre (en los que el profesorado nos sentimos más seguros)? ¿responden los programas actuales a las necesidades formativas de los estudiantes que tendrán, como ciudadanos o como científicos, dentro de quince años?...

la *otra ciencia* que diariamente se enseña con la publicidad, en la prensa, en la televisión o en internet (Campanario, Moya y Otero, 2001)?; ¿se debe enseñar lo mismo con la pizarra que con las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación? (Sanmartí e Izquierdo, 2001)...

3. ¿Qué dificultades tienen los alumnos para aprender la Física y la Química?

Nuestra percepción sobre los conocimientos científicos contempla no sólo un cuerpo teórico, más o menos estructurado y contrastado, sino también los procesos que han llevado a la construcción de esos productos intelectuales y los valo-

res culturales deseables -que no siempre coinciden con los reales- en este ámbito del saber. Con este marco de referencia creemos que hay que enseñar conceptos como la velocidad, la corriente eléctrica o el mol, o iniciarles en las leyes de la conservación de la masa en las reacciones químicas o de propagación de las ondas en los fenómenos de reflexión y refracción... Pero también se deberá dedicar tiempo a enseñar al alumnado a reconocer hechos y fenómenos, a observar, a medir, a analizar situaciones de la vida cotidiana, a realizar predicciones y emitir hipótesis, a inferir conclusiones coherentes con los datos, a identificar ideas en un material escrito o audiovisual, a ser curiosos, a respaldar sus afirmaciones con argumentos, a reconocer la importancia social y científica de los hallazgos, a adquirir hábitos de vida saludables, a disfrutar aprendiendo...

En definitiva, cuando hablemos de dificultades de aprendizaje no sólo nos deberíamos referir al conceptual sino también al procedimental y al actitudinal. Ahora bien si no se da por supuesto que los estudiantes, por el hecho de disponer de un libro, aprenden autónomamente las estructuras conceptuales, leyes y teorías de las ciencias, tampoco se debería suponer que van a aprender por su cuenta (¿sin siquiera la ayuda de un libro de texto?) los procedimientos y actitudes mencionados. Por lo tanto, no se puede hablar de dificultades de aprendizaje en estos últimos contenidos (que las hay...) cuando no se realizan intervenciones intencionadas para enseñarlos.

Ahora bien, considerar la natu-

raleza de las ciencias como un fundamento de su enseñanza no debe confundirnos: no es lo mismo la ciencia de los científicos que la ciencia escolar (Jiménez, 1992; Pro, 2003a...). Centrándonos en las características de los “usuarios” hay diferencias importantes:

- Los físicos y los químicos eligen *libremente* trabajar sobre las ciencias como actividad profesional; los estudiantes -en la educación obligatoria- son *obligados* a estudiar la Física y la Química.
- Los científicos no son especialistas en todos los ámbitos del conocimiento (aunque fueran contemporáneos, no tenemos noticias de que Ohm supiera mucho de la penicilina, ni Fleming de los conductores lineales); el alumnado debe aprender *todas* las Ciencias.
- Los científicos dedican todo el día a trabajar sobre tareas similares en un campo muy limitado de la investigación; los estudiantes deben simultanear el estudio de la Física y la Química con el de materias con las que parecen tener pocos puntos de encuentro.
- Los científicos defienden sus ideas con vehemencia, usando argumentos que han sido fruto de numerosas reflexiones y experiencias; los estudiantes normalmente no se implican tanto en la defensa de sus creencias científicas.
- Se supone que los científicos tienen un gran desarrollo intelectual; los estudiantes de estos niveles educativos están creciendo intelectualmente pero tienen aún unas importantes limitaciones cognitivas. A menudo se destaca que algu-

nos científicos de renombre han superado el paradigma vigente y en el que previsiblemente *estaban instalados* (Bohr frente a los modelos de la materia, Einstein frente a la mecánica newtoniana, Schrödinger frente a la física determinista, etc) En estas situaciones poco habituales, se reconocen unos denominadores comunes: conocimientos, creatividad, gran implicación del investigador en su tarea profesional... ¿Se pueden conseguir estos cambios paradigmáticos con los alumnos de estas edades?

Por lo tanto, en la enseñanza en general y en la obligatoria en particular, no se puede establecer un isomorfismo entre los conocimientos de ciencia que usan los científicos y los que *fluyen* en el aula. Es más, tampoco coinciden con los que usan los profesores cuando se comunican entre sí o con los que se compran o se venden en los medios de comunicación. Hay *muchas* ciencias...

Se han realizado numerosos trabajos sobre las dificultades concretas que tienen los estudiantes en el aprendizaje de la Física y la Química (Shayer y Adey, 1984; Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Hierrezuelo y Montero, 1989; Pozo y Gómez, 1998; Pro, 2003b; Caamaño, 2003...). Pensamos que estas aportaciones son de gran interés para ser consideradas en la planificación de la enseñanza y en la intervención en el aula. Sin embargo, hay otros problemas en relación con el aprendizaje que parecen obviarse. Vamos a mencionar algunos de ellos.

- Muchas veces nos hemos encontrado con compañeros que tratan de impartir programas sobrecargados de contenidos y que se quejan por no disponer de tiempo suficiente para expli-

carlos. Si no nos da tiempo enseñarlos, ¿cómo le va a dar tiempo al alumnado a aprenderlo?

Existe una gran distancia entre la forma de acceder a la información que actualmente tiene el alumnado y la que usamos en el aula (fundamentalmente el libro de texto). Nos olvidamos que, con la edad de nuestros alumnos, no teníamos televisión, internet, consolas, etc y, por ello, no existían formatos y canales diferentes dentro y fuera del aula. ¿Es que la forma de aprender mediante

En la enseñanza en general y en la obligatoria en particular, no se puede establecer un isomorfismo entre los conocimientos de ciencia que usan los científicos y los que *fluyen* en el aula

imágenes es similar a hacerlo con documentos escritos?

- Sabemos que la Física y la Química -sus productos, procesos, y formas de hacer y pensar- no han sido fruto de un momento. Cualquier hallazgo ha tenido detrás pequeñas y grandes aportaciones, individuales y colectivas, anónimas y reconocidas, aceptadas y controvertidas, demostradas y especulativas, etc. ¿Nos puede sorprender que nuestros alumnos tengan dificultades para aprenderlos en el tiempo que tenemos?
- Se constata que los conoci-

mientos de Física y de Química cambian no sólo en los productos sino también en los procesos de investigación o en las formas de pensar y actuar, y lo hacen de forma integrada. ¿Por qué se insiste tanto en el contenido declarativo y se le da menos importancia al procesual o a las actitudes?

- La experimentación, la investigación, la argumentación y la comunicación son componentes consustanciales con la evolución del conocimiento físico y químico. Por tanto, podemos presuponer, sin caer en el empirismo o positivismo ingenuos, que la construcción de aprendizajes conceptuales pasa por la adquisición de los contenidos implícitos en las actividades anteriores; de hecho, así se considera en países punteros en las Olimpiadas de Física o de Química o en los resultados del proyecto PISA. Si a otros parece que les funciona, ¿por qué no “copiarlo” en nuestro contexto y valorar lo que pasa?

4. ¿Qué dificultades tienen los profesores para enseñar la Física y la Química?

La labor profesional del profesorado en general (y el de Física y Química, en particular) es tan importante como compleja y poco reconocida. No sólo hemos asumido competencias familiares sino que también sufrimos la inhibición de muchos padres; realizamos labores de trabajadores sociales y vivimos las primeras manifestaciones de

problemas que nuestra sociedad no sabe cómo resolver (violencia, consumismo, discriminación, etc); soportamos descalificaciones (el estigma de los tres meses de vacaciones...) sin apreciar muchas veces un respaldo de “nuestra patronal”... Pero, además de estas dificultades genéricas, tenemos otras específicas.

Es un hecho aceptado por todos que la evolución de los conocimientos en Física y Química resulta espectacular en los últimos tiempos

La primera dicotomía que se debe resolver institucionalmente sin ninguna ambigüedad es si nuestra labor profesional es formar a futuros físicos, químicos, ingenieros, etc o si tenemos que contribuir a la formación básica de ciudadanos libres, democráticos, reflexivos, informados y felices. Si el profesorado tenemos la competencia profesional de seleccionar los contenidos (no sólo de enseñarlos), alguien nos debería decir claramente con qué intención educativa lo hacemos.

Otro aspecto que nuestras autoridades educativas deberían aclarar es qué importancia real le asignan al aprendizaje de estas materias. No se puede mantener el discurso de la necesidad de mejorar la cultura científica y tecnológica de los ciudadanos o *vender* las grandes ventajas de nuestra incorporación al grupo de países más desarrollados, y paralelamente reducir la presencia de estas asignaturas, sus contenidos y su horario en la educación obli-

gatoria. Simplemente son opciones incompatibles.

También se debería clarificar qué quiere decir el legislador cuando señala que la Física y la Química son ciencias experimentales. Si se trata de impartir un tema cero sobre los métodos de las ciencias y, con ello, cubrir el expediente, o si se considera que el papel de las actividades prácticas es realmente relevante. En este último caso, existen unos mínimos que no se pueden ignorar: dotar adecuadamente de medios y materiales (hay que revisar incluso el que actualmente llega a los centros), favorecer el desdoblamiento de grupos, revisar la organización horaria de los centros, recuperar las aulas específicas de ciencias, etc.

Es un hecho aceptado por todos que la evolución de los conocimientos en Física y Química resulta espectacular en los últimos tiempos; por ello, las necesidades formativas de nuestros alumnos son o deberían ser cambiantes. Pero, además, creemos que nuestros conocimientos científicos deben actualizarse de forma permanente. No sólo tenemos que planificar e impartir clases, sino que reclamamos el derecho a tener tiempo para seguir aprendiendo, aunque sea al nivel de la ciencia divulgativa o para poder discutir con los estudiantes unas noticias de prensa. Sin embargo, no hay muchos programas ni actividades de formación en este ámbito.

Por otro lado, contrasta el dinamismo de los cambios en las ciencias (y mayor aún en la sociedad), con el inmovilismo en los planteamientos metodológicos que habitualmente se usan en nuestras clases. Es más, sabemos que las

explicaciones del profesorado o el uso de libros de texto puede ser mejorado para facilitar el aprendizaje de los estudiantes; ¿conocemos técnicas para hacerlo? ¿Sabemos los posibles enfoques que podemos usar para realizar las actividades prácticas (fundamentalmente los guiones) o para incorporar otros

recursos didácticos (internet, televisión, juegos)?

Por último, no se debería olvidar que una de las críticas, probablemente más justificadas, que tuvo el proceso de implantación de la LOGSE es que olvidó que “*las reformas son lo que piensan y hacen los profesores con las mis-*

mas” (Escudero, 1999). En estos momentos en que se nos anuncia que *vamos a la calidad por decreto*, recordamos una de las lecciones de Fullan (1992): “*Aquello que es realmente importante no puede ser impuesto*”.

Referencias bibliográficas

- BENARROCH, A. (2001). Interculturalidad y enseñanza de las Ciencias. *Alambique*, 29, pp. 9-24
- Boletín Oficial de las Cortes Generales. Senado (2003). Informe de la Ponencia sobre la situación de las enseñanzas científicas en la educación secundaria, aprobado en el seno de la Comisión de Educación, Cultura y Deporte el 13 de mayo de 2003 (BOCG del 22 de mayo de 2003).
- CAAMAÑO, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En la obra de Jiménez et al.: *Enseñar Ciencias*, pp. 203-228. Barcelona: Grao
- CAMPANARIO, J.M.; MOYA, P.; OTERO, J. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 81-96
- DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGH-IEN, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y adolescencia*. Madrid: Morata/MEC.
- ESCUDERO, J.M. (ed.) (1999). *Diseño, desarrollo e innovación del currículum*. Madrid: Síntesis.
- FULLAN, M. (1992). *Successful school improvement. The implementation perspective and beyond*. Buckingham: Open University Press.
- GIL, D.; VILCHES, A.; ASTABURUAGA; R.; EDWARDS, M. (2000). La atención a la situación del mundo en la educación de los futuros ciudadanos y ciudadanas. *Investigación en la escuela*, 40, pp. 39-56
- GONZÁLEZ, P. (1996). La ciencia del siglo XXI en el currículum. *Alambique*, 10, pp.79-84
- HIERREZUELO, J.; MONTERO, A. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la Didáctica de la Física y de la Química*. Barcelona: Laia.
- JIMÉNEZ, M.P. (1992). El papel de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. En la obra de Porlán et al.: *Teoría y práctica del currículum*, pp. 55-96. Madrid: MEC.
- MEMBIELA, P. (1999). La enseñanza multicultural de las ciencias experimentales. *Alambique*, 22, pp.117-122
- POZO, I.; GÓMEZ, M.A. (1998). *Aprender y enseñar Ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- PRO, A. (2003a). La construcción del conocimiento científico y los contenidos de Ciencias. En la obra de Jiménez et al.: *Enseñar Ciencias*, pp. 33-54. Barcelona: Grao
- PRO, A. (2003b). La enseñanza y el aprendizaje de la física. En la obra de Jiménez et al.: *Enseñar Ciencias*, pp. 175-202. Barcelona: Grao
- PRO, A.; SAURA, O. (2001). Nuevos tiempos, nuevos contenidos. *Alambique*, 29, pp. 53-62.
- SANMARTÍ, N.; IZQUIERDO, M. (2001). Cambio y conservación en la enseñanza de las ciencias ante las TIC. *Alambique*, 29, pp. 71-83
- SHAYER, M.; ADEY, P. (1984). *La ciencia de enseñar Ciencias*. Madrid: Narcea
- VÁZQUEZ, J. (1999). Divulgación científica y democracia. *Alambique*, 21, pp. 17-25
- WOJTKOWIAK, B. (1987). *Historia de la Química*. Zaragoza: Acribia