

# Bases para una propuesta de tratamiento de las interacciones CTS dentro de un currículum cerrado de química de bachillerato

Juan Quílez Pardo\*

## Abstract

This paper outlines the fundamentals of STS movement, and depicts different approaches based on these assumptions. This analysis helps to establish some of the difficulties that arise when trying to include STS interactions in the chemistry classroom. Then, this discussion allows us to make a suggestion in order to incorporate STS-based activities in pre-university chemistry level. This proposal includes the history of chemistry as a key feature. Finally, it is suggested the development of similar project within a chemistry education research framework in which in-service teachers training programs should be embedded.

## Algunas bases que sustentan el movimiento CTS

Tradicionalmente, la enseñanza de las ciencias ha estado asociada a la transmisión de una serie de datos, hechos, leyes y teorías, con clara vocación propedéutica. En consecuencia, el énfasis se centró en la preparación de futuros científicos. Se olvidó, por tanto, la importancia que tiene la ciencia para quien no pretende ser un profesional de la misma, así como el papel que ésta ha jugado en la configuración de nuestra sociedad y el que puede tener en el futuro.

Siguiendo una tradición que se remonta a mediados del siglo XIX (Bevilacqua, Giannetto y Matthews, 2001), una propuesta que intentó corregir esta situación fue la formulada en 1947 por el profesor de química de la Universidad de Harvard James B. Conant. En su primera publicación de este tipo (Conant, 1947), este científico plasmó sus reflexiones acerca de la necesidad de proporcionar una adecuada cultura científica a quienes no se van a dedicar a la ciencia en su vida profesional. Conant había sido

en los años previos presidente del Comité Nacional de Investigación para la Defensa, por lo que conocía de primera mano los programas de desarrollo de armas nucleares. Ello le hizo plantearse seriamente cómo mejorar la comprensión de la ciencia por parte de los ciudadanos de su país. La toma de decisiones responsables concernientes al control del armamento nuclear era considerada por Conant como una prioridad de primer orden internacional. Para conseguir su objetivo, Conant propuso reducir la cantidad de material científico que deben aprender los estudiantes. Como contrapartida, los alumnos deberían entender lo mejor posible las relaciones entre la ciencia y la sociedad. Este objetivo se conseguiría si en las clases, más que presentar los resultados finales de la ciencia, se reflexionase acerca de la forma en la que los mismos se han producido. Para alcanzar este fin, Conant propone el estudio de casos históricos importantes, pero reconoce que el mayor obstáculo para un uso extendido de la historia de la ciencia como elemento básico en la enseñanza de la ciencia es la ausencia de material histórico apropiado para su utilización en las clases. Todo ello le llevó a desarrollar más ampliamente su idea original con la publicación de una obra que consta de dos volúmenes, sus *Harvard case histories in experimental science* (Conant, 1957), que iban dirigidos principalmente a los estudiantes de humanidades.

Más recientemente, Ziman (1980) analizó la imagen empobrecida de la ciencia en su enseñanza, señalando la práctica inexistencia en ésta de aspectos científicos analizados desde el punto de vista histórico, filosófico, sociológico y económico. Ziman argumenta que tradicionalmente la ciencia se ha presentado como 'neutra' y 'absolutamente objetiva', al amparo de premisas 'positivistas', que consideran a la ciencia como único instrumento válido e irrefutable para alcanzar 'la verdad'. De esta forma, la ciencia se ha enseñado desconectada de la realidad y, más concretamente, de la sociedad, a pesar de las múltiples aplicaciones tecnológicas que condicionan nuestra vida cotidiana. Al mismo tiempo, nuestra sociedad ha generado distintas visiones metafísicas

\* IES Benicalap. Departamento de Física y Química.  
Nicasio Benlloch, s/n, 46015 Valencia, España.  
Correo electrónico: j.quílez@teleline.es

de la ciencia, de ‘sentido común’, que la presentan como algo oculto, esotérico, complicado e inasequible, sólo apta para unos cuantos, alejada de las vidas de sus ciudadanos, y potencialmente peligrosa, lo cual genera una prudente desconfianza. Ziman se pregunta por qué la ciencia sigue siendo un libro cerrado para la mayor parte de las personas que se consideran instruidas, de forma que éstas lo único que recuerdan de su paso por las clases de ciencias es una serie de datos y unas cuantas fórmulas que en su día aprendieron de memoria, por lo que encuentran que las clases de ciencias recibidas no les son de utilidad para su vida diaria ni les proporcionan ningún significado.

Por todo ello, Ziman sugiere la necesidad de estudiar en las clases más *acerca* de la ciencia, es decir, de profundizar en lo que *es*, en lo que *conoce* y en *cómo* llega a saberlo. En consecuencia, este físico señala que la educación científica debería plantearse como necesidad básica el ahondar en el estudio de la naturaleza del conocimiento científico, lo cual se puede conseguir enseñando acerca de las distintas interacciones entre la Ciencia, la Técnica y la Sociedad (CTS).

En el capítulo 7 del libro *Teaching and learning about science and society*, John Ziman establece una serie de formas posibles de enseñar las relaciones CTS. En la introducción del mismo señala:

El principal defecto de la enseñanza tradicional de la enseñanza de la ciencia es que proporciona una imagen unidimensional de la ciencia y de la tecnología. El objetivo fundamental de la enseñanza de las relaciones CTS es el de corregir esta imagen enseñando acerca de la ciencia en su contexto social. Mediante este medio se espera ampliar la formación de los estudiantes de ciencia y de tecnología, preparándoles mejor para sus vidas en su actividad profesional y como ciudadanos responsables (Ziman, 1980, p. 108).

Son posibles, según Ziman, una gran diversidad de aproximaciones para conseguir estos objetivos:

- a) a partir de las aplicaciones de la ciencia, explicando la relevancia social de las mismas y
- b) considerando las siguientes vertientes: la interdisciplinar, la histórica, la filosófica, la sociológica o partir del planteamiento de situaciones problemáticas de interés.

Ninguna aproximación excluiría al resto, combinándose y complementándose unas con otras. Otra ca-

racterística de su análisis es que los temas de estudio CTS no responden a ningún orden propiamente disciplinar, por lo que el currículum CTS no estaría predeterminado, quedando abierto a la innovación, dentro de un debate de discusión e intercambio de ideas y de realización de trabajos de colaboración, como un trabajo colectivo de evaluación y de mejora.

### **Inicio del movimiento CTS y su concreción en diferentes proyectos**

La investigación relacionada con el movimiento CTS se inició a partir de la década de los años ochenta del siglo pasado, cristalizando la misma mediante la elaboración de diferentes proyectos CTS (Fensham, 1995). En su inicio, los principales objetivos básicos de esta investigación trataban de corregir el escaso número de alumnas interesadas en cursos de ciencia, así como la disminución paulatina y generalizada en el interés del estudio de las ciencias con los años de escolarización (Solomon, 1996). Una de las primeras evaluaciones del movimiento CTS la realizó Solomon (1988). En la misma se trataban los principios filosóficos que animaron estos cambios, así como los dilemas y las dificultades encontradas tras los primeros años de investigación y de desarrollo de los proyectos iniciales. Garritz (1994) realizó un estudio posterior en el que se describían las distintas características de los primeros proyectos CTS. Finalmente, una revisión histórica más reciente acerca de la fundamentación teórica del movimiento CTS y de las distintas visiones e interpretaciones corresponde a Aikenhead (2002). Sin ánimo de repetir estas aproximaciones, conviene ahora realizar una panorámica rápida para mostrar la diversidad de concreciones con las que, en la práctica, se ha ido materializando el movimiento CTS, focalizando especialmente la atención en el caso concreto de la química.

En Holanda se desarrolló el proyecto PLON (Eijkelhof *et al.*, 1981) para la enseñanza de la Física en el bachillerato. La idea no implicaba la confección de unidades CTS específicas, sino la incorporación de numerosos aspectos CTS en distintos lugares de cada una de las unidades didácticas del currículum, previamente establecido. Pero este intento tropezó con un problema: la responsabilidad del profesorado en cuanto a la necesidad de abordar todo el programa oficial de la asignatura por la presión que ejercía la existencia de un examen final, lo cual provocaba que, en caso de problemas de tiempo, los conceptos CTS fuesen precisamente los primeros en desconsiderarse. Tras los primeros años de esta ex-

perencia, diferentes cuestiones de tipo CTS se incluyeron en el programa de bachillerato oficial como objeto de evaluación, por lo que muchos de los nuevos libros de texto de Física prestaron una mayor atención a las relaciones CTS (Eikelhof, Kortland y Lijnse, 1996).

En Gran Bretaña se publicaron en 1983 una serie de unidades didácticas correspondientes al proyecto SISCON (Solomon, 1983). Las dos primeras unidades establecían la base teórica del proyecto, y las seis siguientes se centraban en el estudio de un aspecto problemático particular (eg. 'La bomba atómica' o 'Salud, alimentos y población'). Estas unidades únicamente se desarrollaron para los estudiantes de mayor nivel académico (17 años). Con posterioridad, un nuevo proyecto vio la luz: SATIS, amparado en una perspectiva totalmente diferente al proyecto SISCON. Ahora, el objetivo consistía en la preparación de una serie de materiales CTS, con capacidad de tener cabida dentro del currículum oficial en diferentes niveles académicos y de adaptarse a las particulares preferencias del profesorado. Al proyecto SATIS le siguieron los proyectos *Salter's Science* y *Salter's Chemistry*. Este último proyecto (Burton *et al.*, 1995) consta de dos libros para el alumnado: *Chemical Ideas* y *Chemical Storylines* (Burton *et al.*, 1994), así como de un conjunto de actividades y de

trabajos prácticos y de una guía para el profesorado, habiendo sido adaptado en diferentes países. Este proyecto tiene la ventaja de que la evaluación que realizan los alumnos al finalizar los dos años de bachillerato tiene en cuenta las características propias del mismo, por lo que el examen se confecciona en el mismo contexto CTS que inspira la química *Salters*. El curso se estructura a partir de las trece unidades del libro *Chemical Storylines* (tabla I), que proporcionan el contexto a partir del que se desarrollan los conceptos químicos. Por tanto, éstos no se estudian siguiendo el orden disciplinar con que aparecen organizados en el libro *Chemical Ideas* (tabla I), sino que surgen como una necesidad en el estudio de situaciones de la vida diaria. Ello hace que los temas que se estructuran en este segundo libro se estudien de forma fragmentada en varios de los capítulos del libro *Chemical Storylines*, que es el que realmente organiza el curso *Salters*.

En España, a partir del proyecto original (Burton *et al.*, 1994), y después de un proceso de experimentación de varios años, se han elaborado ocho unidades didácticas *Salters* para desarrollarse en los dos cursos del bachillerato (tabla II) (Caamaño *et al.*, 1999). Cada una de las unidades didácticas consta de tres partes: 'Química y sociedad', 'Conceptos químicos' y 'Actividades'. En el apartado 'Química y sociedad' se incluye una lectura que constituye el hilo conductor de cada unidad y proporciona el contexto en el que se desarrollan las ideas en torno a este ámbito. A partir de diversos aspectos relacionados con la química cotidiana y el trabajo de los químicos, se propicia el estudio de los principios en los que se basan estos procesos. En el apartado dedicado a los 'Conceptos químicos' se explican los principios químicos esenciales para la comprensión de la lectura inicial. Constituyen la parte teórica del curso. Finalmente, las actividades se caracterizan por utilizar una gran variedad de recursos y por potenciar el aprendizaje autónomo y en grupo. Muchas de ellas son trabajos prácticos. Para cada unidad didáctica se ha elaborado la correspondiente guía didáctica. Además, el proyecto incluye una visita a una industria química y la elaboración de una investigación individual por parte de los estudiantes.

La evaluación de los resultados del programa de experimentación del proyecto *Salters* en España permitió establecer las siguientes conclusiones (Caamaño *et al.*, 1999):

- Las ocho unidades no podían desarrollarse en el tiempo disponible, a pesar de haber reducido el

**Tabla I.** Títulos de las unidades didácticas que se desarrollan en el libro *Chemical Storylines* y títulos de los principales conceptos químicos, según están organizados en el libro *Chemical Concepts*, correspondientes al proyecto *Salters Chemistry*.

<i>Chemical Storylines</i>	<i>Chemical Ideas</i>
1. The elements of life	1. Measuring amounts of substances
2. Developing fuels	2. Atomic structure
3. From minerals to elements	3. Bonding, shapes and sizes
4. The atmosphere	4. Energy changes and chemical reactions
5. The polymer revolution	5. Structure and properties
6. What's in a medicine?	6. Radiation and matter
7. Using sunlight	7. Equilibrium in chemistry
8. Engineering proteins	8. Acids and bases
9. The steel story	9. Redox
10. Aspects of agriculture	10. Rates of reactions
11. Colour by design	11. The periodic table
12. The oceans	12. Organic chemistry: frameworks
13. Medicines by design	13. Organic chemistry: modifiers
	14. Organic synthesis

**Tabla II.** Unidades de la Química Salters (España).

<p><b>1.- Elementos de la vida.</b> Un estudio de los elementos del cuerpo humano, del descubrimiento y la clasificación de los elementos, y del origen de los elementos en el sistema solar y en el Universo. <i>Conceptos químicos:</i> Cantidad de sustancia. Fórmulas químicas. Tabla periódica. Modelos atómicos. Espectros de emisión y de absorción. Química nuclear. Enlace químico.</p> <p><b>2.- Desarrollo de combustibles.</b> Un estudio sobre los combustibles y el trabajo de los químicos para obtener mejores gasolinas. <i>Conceptos químicos:</i> Ecuaciones químicas. Cálculos estequiométricos. Leyes de los gases. Energía de las reacciones. Entalpía de enlace. Hidrocarburos y alcoholes. Catálisis.</p> <p><b>3.- De los minerales a los elementos</b> Un estudio de la extracción y el uso de tres elementos: el bromo, el cobre y el plomo. <i>Conceptos químicos:</i> Reacciones redox. Ácidos y bases. Sólidos iónicos y disoluciones iónicas. Precipitación. Entalpía de disolución y de solvatación.</p> <p><b>4.- La revolución de los polímeros.</b> Un estudio del desarrollo de los polímeros desde su nacimiento hasta nuestros días y el problema de los residuos que generan. <i>Conceptos químicos:</i> Polímeros. Fuerzas intermoleculares. Ácidos carboxílicos y sus derivados. Alcoholes, fenoles y ácidos. Ésteres. Aminas y Amidas.</p>	<p><b>5.- La atmósfera.</b> Un estudio de los procesos que tienen lugar en la atmósfera y de su incidencia en el clima. El agujero en la capa de ozono y el efecto invernadero. <i>Conceptos químicos:</i> Teoría cinético-molecular de los gases. Radiación y materia. Alcanos halogenados. Velocidad de reacción. Equilibrio químico.</p> <p><b>6.- Aspectos de agricultura.</b> Un estudio de la investigación química para asegurar buenas cosechas. <i>Conceptos químicos:</i> La química del carbono y del silicio. Intercambio iónico. Equilibrio ácido-base. Ácidos fuertes y débiles. Cálculo del pH. Nitrógeno, amoníaco y nitratos.</p> <p><b>7.- La química del acero.</b> La producción del acero y los procesos industriales utilizados para protegerlo contra la corrosión. <i>Conceptos químicos:</i> Los elementos de transición. Formación de complejos. Pilas y potenciales de electrodo. Electrólisis.</p> <p><b>8.- Los océanos.</b> Una descripción de los océanos y del papel que desempeñan en la regularización del clima y en la formación de las rocas. <i>Conceptos químicos:</i> Enlace de hidrógeno. Entropía y entalpía libre. Equilibrio de solubilidad de los compuestos iónicos insolubles. Forma de las moléculas.</p>
--	---

número de unidades didácticas a desarrollar (re-cordemos que el proyecto original contiene 13 unidades). Pero conviene precisar que en Gran Bretaña el tiempo que se dedica en el bachillerato al estudio de la Química prácticamente duplica al que le corresponde en España. En consecuencia, una alternativa suponía considerar únicamente seis unidades didácticas, en lugar de las ocho inicialmente adaptadas.

- Las lecturas debían realizarse con la intervención planificada de los profesores, requiriendo un tiempo equivalente a los otros tipos de contenidos. Además, algunas lecturas debían simplificarse para facilitar su comprensión.
- Dado el propio desarrollo de los contenidos, el proyecto necesitaba de una mayor atención en orden a establecer vínculos y relaciones generales iniciales entre los mismos. Además, la propia estructura de las unidades, que separaba la lectura de los conceptos y de las actividades obligaba a los alumnos a realizar continuos saltos entre las tres secciones que componen cada una de las unidades.
- Se considera que los conceptos deberían estar agrupados en un solo libro, según una estructura disciplinar, para así ayudar a los estudiantes a estructurar y relacionar los contenidos correspondientes.

- El número de problemas numéricos era insuficiente y faltaban actividades de exploración, considerándose positiva la existencia de actividades tanto de síntesis como de revisión de los contenidos estudiados.

En Estados Unidos, el movimiento CTS surge como una necesidad de afrontar algunos de los problemas más importantes encontrados en la enseñanza tradicional de la ciencia (Yager, 1996):

- La detección de errores conceptuales, que se mostraban tenazmente persistentes, y que cuestionaban los métodos tradicionales de enseñanza de las ciencias.
- La mayoría de los estudiantes de ciencias no desarrollaban unas capacidades que supusieran una correcta alfabetización científica, a pesar de haber superado con éxito los distintos niveles académicos.
- El interés por el estudio de la ciencia, así como la curiosidad y creatividad de los estudiantes decrecía con los años de escolarización.

Se consideró que esta situación la propiciaba un currículum cerrado, puramente disciplinar en su organización y con una clara intención de preparación para cursos superiores, desarrollado por libros

de texto que solían omitir cualquier tipo de relación CTS, y utilizados por profesores formados académicamente atendiendo a los parámetros anteriores, que provocaba que no se sintieran cómodos con nuevas aproximaciones ni les encontrarán, en principio, mucha utilidad. La presión ejercida por la existencia de pruebas externas de evaluación, en consonancia con el planteamiento curricular indicado, era un nuevo elemento que dificultaba el necesario cambio curricular. Este cambio, más que una propuesta de un nuevo currículum CTS, debía ser la reestructuración del currículum vigente mediante la creación de un *contexto* para su desarrollo.

El programa *Chautauqua* de la Universidad de Iowa (Yager, 1996) es un proyecto de investigación CTS, que se centra en la formación de profesorado de ciencias en ejercicio, con el apoyo de NSTA-NSF. Fue creado en 1983 con el objetivo de mejorar la enseñanza de las ciencias en los niveles no universitarios, intentando, por tanto, corregir las deficiencias señaladas anteriormente. Su marco teórico intenta ser coherente con las bases teóricas para el proceso de enseñanza/aprendizaje que proporciona el constructivismo, y se basa en el planteamiento de problemas que pueden ser de interés para los alumnos, que éstos resuelven con la ayuda de su profesor. En su desarrollo y experimentación se ha puesto especial cuidado en la evaluación de la adquisición de conceptos, en la mejora de capacidades procedimentales, y en el campo afectivo hacia la ciencia, así como en la consideración de las actitudes propiamente científicas.

El trabajo del programa *Chautauqua* incluye explícitamente un marco de referencia de tipo constructivista, a diferencia del proyecto *Salters*. Los planteamientos de este proyecto en cuanto al tratamiento de los conceptos de química parecen no tener muy en cuenta la amplia gama de investigaciones referentes a las dificultades de aprendizaje y a los errores conceptuales de los estudiantes de distintos niveles académicos. Otra diferencia entre ambos es que el programa *Chautauqua* propone considerar la perspectiva histórica, ya que la evolución histórica de los conceptos permite establecer una guía para su enseñanza y, además, muchas de las ideas científicas de los estudiantes guardan un paralelismo histórico con las de su proceso de construcción. Por su parte, el proyecto *Salters* ofrece una limitada utilización de la historia de la química.

Por último, en este breve repaso descriptivo, mencionaremos dos proyectos de la American Che-

mical Society. El primero de ellos, *ChemCom*, data de 1988, existiendo una edición en castellano en el año 1998 (*Química en la Comunidad*) de la edición original de 1993. El segundo proyecto, que lleva por título *Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society* (Stanitski *et al.* 2000), se editó por vez primera en el año 1994. El objetivo de esta publicación es el establecimiento de los principios de la química dentro de una estructura cuyo contexto sea una serie de problemas y de cuestiones sociales y tecnológicas importantes. Por ello, el título de cada uno de los capítulos del libro no es el convencional para un curso de química, sino que responde a titulares importantes de actualidad, directamente relacionados con la química (eg. 'El aire que respiramos', 'Protegiendo la capa de ozono', 'La química del calentamiento global', 'Energía, química y sociedad', 'El mundo de los plásticos y los polímeros', hasta un total de doce unidades didácticas). El material se presenta al estudiante de forma que demuestra cómo en realidad la química afecta a sus vidas, sin profundizar ni en los aspectos conceptuales ni procedimentales de la química, aunque con una clara vocación de que el estudiante desarrolle una capacidad de crítica que le permita evaluar mejor riesgos y beneficios y poseer unas habilidades que propicien que esté mejor informado, de forma que le faciliten el desarrollo de actitudes adecuadas para que tome, en su caso, decisiones responsables acerca de cuestiones científico-tecnológicas que pueden afectarles en su vida diaria.

Por otro lado, si bien se nota una tendencia en los libros de texto de química modernos a incluir de alguna manera las interacciones CTS, existen algunos en los que se destaca de forma importante el estudio de las aplicaciones de la química a la vida diaria. Por ejemplo, *Chemistry in action* (Freemantle, 1991), a partir de una estructura disciplinar, realiza una presentación de cada uno de los temas con una lectura que, de alguna manera, justifica o contextualiza los conceptos químicos que se estudian en los mismos. Además, numerosos ejemplos de 'química en acción' se incluyen para demostrar la importancia de la química en la industria, en la sociedad, en el medio ambiente, la historia y la literatura. Por su parte, los dos volúmenes de *Chemical Connections* (James, Derbogosian, Bowen y Auteri, 1991; James y Stokes, 1992) tienen la intención de analizar el estudio de la química mediante múltiples aplicaciones de la vida diaria. Por último, mencionaremos el libro *The extraordinary chemistry of ordinary things*

(Snyder, 1998). En el mismo, los primeros once capítulos cubren el currículum de un curso básico de química, mostrándose en cada uno de los ellos múltiples aplicaciones a la vida real. En el resto de los temas (hasta un total de 21) se produce una clara decantación hacia una presentación de las sustancias químicas que nos afectan y que están presentes en nuestra vida cotidiana. Consta, además, de un apéndice en el que aparece una selección de artículos de la revista *Science News*, que se correlacionan con el texto. Una característica común a estos dos últimos libros de texto es que la historia de la química juega un papel secundario o se encuentra prácticamente ausente de los tratamientos CTS que se realizan.

Por todo ello, a pesar de las innovaciones producidas, en lo que respecta a la inclusión de aspectos históricos y de filosofía de la ciencia en los distintos proyectos, la situación no es tan alentadora. Quizás, este hecho sea el resultado de una larga tradición previa (Rodríguez y Níaz, 2002). En la misma, muchos libros de texto únicamente hacen breves referencias a aspectos históricos, y cuando ello se produce se realizan muchas distorsiones y se cometen errores. En muchos casos, el pasado se interpreta en términos de las ideas y valores actuales. Además, se suele hacer referencia a los 'grandes genios' trabajando de forma aislada mediante un método inductivo de descubrimiento (Novak, 1984; Stinner, 1989; Sutton, 1989). En estas condiciones, se presenta a los científicos descubriendo nuevos conocimientos mediante la aplicación del 'método científico', que consiste en una secuencia de pasos preestablecida que se debe seguir para de forma automática alcanzar la verdad. Finalmente, los libros de texto suelen mostrar los últimos productos de la ciencia, que se han alcanzado como resultado de un proceso acumulativo de conocimientos. Consecuentemente, la ciencia se suele presentar como un cuerpo establecido de saberes y de técnicas que requieren una mínima justificación. Por ello, muchos profesores se preocupan de dar a conocer a sus alumnos *qué* conocemos, desconsiderando en gran medida analizar *cómo* hemos llegado a saber lo que sabemos. Así, dentro del contexto español, Traver (1996) ha señalado que la utilización de la historia de la química como instrumento de aprendizaje por los autores de libros de texto o bien es inexistente en la mayoría de los capítulos o se limita a material complementario al final de alguno de ellos. Esta investigación refuerza otras realizadas previamente en contextos diferentes (Chiappetta, Sethna y Fillman, 1991) en donde se señala la escasa

atención de los autores de libros de química a usar el razonamiento científico, sin mostrar los procedimientos de indagación científica que utilizan los científicos, ni el desarrollo y evolución de los distintos conceptos.

### Otros materiales CTS

Dentro del nacimiento y desarrollo del movimiento CTS, debemos citar otro tipo de publicaciones que, a pesar de tener un carácter divulgador o de popularización de la ciencia, conviene tener presente, ya que también tienen como objetivo aumentar la cultura científica de los ciudadanos.

Ziman (1980) plantea una queja a la comunidad científica acerca de la escasez de iniciativas propias para popularizar la ciencia, que le permita explicar a la ciudadanía cómo trabajan los científicos. Ziman cita como ejemplo de trabajo para conseguir este objetivo el libro *La doble hélice* (Watson, 1994). [Quizás, en este caso particular, sería muy útil complementar la lectura del mismo con el libro *Rosalind Franklin y el ADN* (Sayre, 1997)]. En esta misma línea argumentativa, García-Moliner (2001) insiste, y se mostraría más exigente, en la responsabilidad de los científicos referida a la explicación a la sociedad de la relevancia de su actividad, como un deber más de su actividad. Los casos en los que esta tarea se ha realizado pueden ser de utilidad, como señalábamos anteriormente, en el marco CTS de enseñanza de la ciencia. Mencionaremos, sin ánimo de ser exhaustivos, algunas de estas publicaciones para el caso de la química.

En lugar destacado se encuentra el libro *Chemistry in the marketplace* (Selinger, 1998), cuyo objetivo básico en la primera edición de 1973 era el intentar hacer relevante la química de nuestros días a los consumidores. El autor señala en el prólogo que esta publicación sirvió de inspiración para el proyecto Salters. Otros dos libros destacados son *Lo mismo y no lo mismo* (Hoffmann, 1997) y *Designing the Molecular World. Chemistry at the frontier* (Ball, 1994). En el primero de ellos, Roald Hoffmann (premio Nobel de Química, 1981) plantea mediante diferentes ejemplos la ambivalencia de la química, y pretende dar a conocer qué es en realidad lo que hacen los químicos. Sobre el planteamiento filosófico que realiza este libro haremos una referencia más adelante acerca de su utilidad en la enseñanza de la química. En el segundo, Philip Ball (editor de la revista *Nature*), trata una serie de casos que requieren un conocimiento más profundo de la química, aunque también con el

objetivo de presentar qué estudian los químicos y cómo lo hacen, haciendo referencia a nuevos problemas y campos de estudio. Otro premio Nobel de Química, Max Perutz, en su libro *Los científicos, la ciencia y la humanidad* (Perutz, 2002) nos presenta una serie de casos históricos en los que también nos muestra cómo trabajan los químicos, el contexto en el que lo hacen y su vertiente humana. Una aportación original es la que realizan dos químicos orgánicos en su libro *Napoleon's buttons* (Le Couteur y Burreson, 2003), con su presentación de la química en la historia. Por su parte, el especialista en la química del fósforo, John Emsley, nos descubre en su libro *Moléculas en una exposición* (Emsley, 1998) toda una serie de sustancias químicas que nos afectan en la vida cotidiana. Un libro semejante es el publicado por Peter Atkins (2003). En esta misma línea, el químico Joe Schwarcz (2001) es un prolífico autor que nos explica con su particular sentido del humor algunos enigmas de química cotidianos. Otros libros interesantes pueden ser *La química en la sociedad* (Fernández, 1994), *The 13<sup>th</sup> element* (Emsley, 2000), *Why the watermelon won't ripen in your armpit?* (Selinger, 2000), *El tío Tungsteno* (Sacks, 2003), *Chemical Connections* (Karukstis y Van Hecke, 2000) o la obra de teatro *Oxígeno* (Djerassi y Hoffmann, 2003). Por último, señalar que las revistas de investigación en didáctica de la química suelen incorporar en sus números biografías de científicos, análisis históricos y estudios de sustancias químicas, que conviene tener también presentes por su potencial aplicabilidad en las clases dentro de un enfoque CTS.

### **Dificultades de incorporación de la filosofía CTS en las clases de química del bachillerato español**

Como señalábamos al principio, la investigación CTS pretende la búsqueda y la promoción de la llamada 'alfabetización científica', que implica desarrollar en los estudiantes de ciencias una serie de conocimientos, habilidades y actitudes que les permitan formarse para poder comprender mejor el mundo en el que viven, propiciándose con ello la capacidad de afrontar problemas individuales y sociales, y de tomar decisiones responsables que les afectan, dentro de un contexto cotidiano cada vez más impregnado por la ciencia y la tecnología.

Estos planteamientos han servido para que en los planes de estudio de ciencias de diferentes países se incluyan criterios de alfabetización científica. España no es en este sentido una excepción. Por ejemplo, en el caso del currículum de la asignatura de

Química de 2º de bachillerato, a partir de la reforma educativa iniciada en el año 1992, se incorporan en primer lugar dos núcleos de contenidos: 1) Aproximación al trabajo científico y 2) Química-Técnica-Sociedad. El resto de contenidos corresponde, desde una perspectiva disciplinar, a un programa 'clásico' de química general. Se especifica que estos dos primeros núcleos no deben tratarse por separado, sino que se han de desarrollar de manera integrada en el resto de los núcleos. Los contenidos que corresponden al núcleo Química-Técnica-Sociedad son:

- Análisis de la naturaleza de la química como ciencia: sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, su evolución, la interpretación de la realidad a través de modelos.
- Relaciones de la química con la técnica e implicaciones de ambas en la sociedad: consecuencias de las condiciones de la vida humana y en el medio ambiente. Valoración crítica.
- Influencias mutuas entre la sociedad, la química y la técnica. Valoración crítica.

Para realizar de forma práctica y efectiva esta prescripción conviene tener presente la discusión realizada en los apartados precedentes. La presentación de algunos de los proyectos CTS más conocidos nos ha permitido observar que, bajo el mismo epígrafe, existen diferencias significativas en cuanto a la forma de materializar las propuestas básicas que sustentan a este movimiento. Se hace necesario, por tanto, el conocer estas diferencias y las dificultades que existen o que pueden presentarse a la hora de tomar decisiones en lo referente a qué y cómo enseñar, que a su vez están íntimamente relacionadas con preguntas de qué, cómo y a quién evaluar. En cualquier caso, parece que la situación más idónea para afrontar estas situaciones es la que supone un programa de formación del profesorado en activo, en la línea del programa *Chatauqua* de la Universidad de Iowa.

En España, no tendrían cabida proyectos puramente CTS como *Chemistry in Context*, dado que la estructura del currículum del bachillerato científico español es disciplinar, por lo que, a pesar de que el mismo realiza la mención CTS citada anteriormente, los conceptos de química tienen un elevado peso específico. Quizás, estos proyectos CTS pueden desarrollarse en otro contexto en los próximos años, dada la intención de las autoridades educativas españolas de incluir una asignatura obligatoria de 'cultura científica' en el bachillerato humanístico.

Otro aspecto condicionante es la existencia de una prueba de evaluación externa para los alumnos que finalizan con éxito el bachillerato. Este examen lo confeccionan profesores de universidad, y contiene cuestiones y ejercicios numéricos tradicionales de química; sólo en algunos distritos universitarios, las interacciones CTS aparecen en ocasiones en forma de cuestiones medioambientales (capa de ozono, lluvia ácida y efecto invernadero). A esta circunstancia hay que añadir un programa oficial de contenidos que, por su enorme extensión, es muy difícil de abordar íntegramente a lo largo del curso académico. Por ello, los profesores, incluso los más entusiasmados a la hora de considerar en sus clases las interacciones CTS, se ven forzados a realizar recortes para centrarse en los tipos de conceptos y de problemas que normalmente suelen aparecer en los exámenes que realiza la universidad al finalizar el curso académico. Como ya se ha señalado anteriormente, este tipo de problemas condicionó la adaptación del proyecto *Salters* al contexto español.

Un punto importante a considerar está relacionado con las deficiencias existentes en la propia formación del profesorado y en la necesidad de establecer la actividad docente como cambio didáctico (Gil, 1991). Todos los profesores de química se han formado en una facultad de química. Tradicionalmente, en la enseñanza de la química universitaria no se ha tenido en cuenta que muchos químicos se van a dedicar a la docencia, por lo que en su formación inicial no se ha considerado ningún aspecto referente a la didáctica de las ciencias. Con todo, hay que decir que esta situación ha cambiado en alguna medida en los últimos años, ya que los futuros químicos tienen ahora la posibilidad de cursar asignaturas optativas relativas a la historia o a la enseñanza de la química. En lo que respecta a la formación permanente del profesorado en activo, si bien hace unos años se intentó dar un impulso a la misma, en la actualidad esta tarea formativa se encuentra en cierta medida desatendida. Esta problemática dificulta en el profesorado el desarrollo de lo que se llama el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) (De Jong, Vealy Van Driel, 2002; Bucat, 2004; Garritz y Trinidad-Velasco, 2004). Este conocimiento tiene como condición necesaria, aunque no suficiente, el dominio de los contenidos de la asignatura a impartir. Es decir, el profesorado debe conocer la propia estructura de la disciplina, que implica saber cómo han surgido los conceptos y su evolución, así como sus posibles cambios de significado, las rela-

ciones que existen entre ellos y su estructura jerárquica, etcétera. Tomando como prerrequisitos estos saberes, el profesor debe ser capaz de transformarlos en el proceso de comunicación con sus alumnos para ayudarles en su comprensión y utilización. Esta capacidad supone poseer, entre otros conocimientos, los siguientes:

- a) establecer las habilidades y los conceptos necesarios de partida (prerrequisitos) para la introducción de nuevos conceptos, así como el grado de dominio de los mismos por parte de sus estudiantes;
- b) conocer las ideas previas de los alumnos, así como las ideas alternativas que se pueden generar en el estudio de los distintos temas;
- c) saber el grado de dificultad y la demanda conceptual de los contenidos a impartir;
- d) recurrir al empleo de una amplia variedad analogías explicativas, de ejemplos ilustrativos y de demostraciones, conociendo en cada caso sus ventajas y los posibles inconvenientes.

El conocimiento de las interacciones CTS, así como la forma de transponer este conocimiento en las clases de química sería un aspecto muy importante en el desarrollo del CPC por parte del profesorado.

En relación con lo discutido en el apartado anterior, es un hecho conocido por la investigación educativa (Baird, 1988) que las propias ideas implícitas del profesorado acerca de la enseñanza y del aprendizaje mediatizan en buena medida las nuevas propuestas curriculares. De esta forma, el currículum que se desarrolla en la práctica modifica los cambios propuestos en función de esas concepciones del profesorado. En el caso de las interacciones CTS, éstas tropiezan con una larga tradición de enseñanza de las ciencias centradas en el contenido (Roberts, 1988). En el contexto español (Solbes y Vilches, 2000), la mayoría de los profesores de química sigue dando prioridad a los aspectos puramente disciplinares, con la vista puesta en su proyección para cursos superiores.

### **Incorporación de las interacciones CTS en un libro de química de bachillerato**

A la hora de confeccionar un libro de texto de Química de 2º de bachillerato, se imponía realizar un balance entre los distintos proyectos CTS y la prescripción que realiza el currículum español, teniendo siempre presente la situación descrita en el epígrafe anterior. Dicho de otra forma, este trabajo

implicaba el reto de intentar contribuir en alguna medida a no disociar los avances producidos en la investigación educativa de la realidad cotidiana de las clases.

Para conseguir el primero de los objetivos CTS que marca el currículum español de química: [‘Análisis de la naturaleza de la química como ciencia: sus logros y limitaciones, su carácter tentativo y de continua búsqueda, su evolución, la interpretación de la realidad a través de modelos’], parece evidente que se deben considerar tanto los aspectos históricos como los filosóficos. Esta tarea no es, en principio, sencilla. En primer lugar, no resulta fácil conocer y recoger todo un material relacionado con la historia de la química, que se encuentra algo disperso (Duschl, 1994). Además, esos trabajos, publicados en revistas y libros especializados, no son, en sí mismos, de utilidad inmediata para las clases de química. Se impone, por tanto, un proceso previo que suponga la transposición final de estos estudios a las aulas. Una forma de conseguir este objetivo implica la reconstrucción de casos históricos que propicien el análisis del proceso de indagación científica, así como del contexto de construcción de las ideas científicas. Ello permite ejemplificar muchos de los aspectos de la

**Tabla III.** Apartados principales y lecturas CTS que corresponden a los mismos del primer capítulo de un libro de química general (Quílez *et al.*, 2003a).

**Tema 1: ¿Qué es la química?**

1. Un origen para la química moderna
  - Los pilares de la química moderna
2. ¿Cuál es el objetivo de la química?
  - Dos teorías rivales compiten en la explicación de la reacción química: flogisto  $\rightleftharpoons$  oxígeno.
  - El largo camino de la teoría atómica.
  - Un lenguaje preciso para la química: publicación del *Méthode de nomenclature chimique*.
3. ¿Qué estudia la química?
  - La química y su aportación contra la malaria.
  - La química y su lucha contra las plagas
4. ¿Cómo se trabaja en química?
  - Nota científica concerniente a la ley de las octavas de Newlands publicada en la revista *Chemical News* en marzo de 1866.
  - La fusión fría.
5. Aspectos sociales de la química.
  - La naturaleza democratizadora de la química.
  - Enrique Moles Ormella, un químico español olvidado.
  - El químico más importante del siglo XX.

naturaleza de conocimiento científico (Quílez, 2004):

- los problemas afrontados;
- los marcos teóricos desde los que los mismos se formulan;
- el carácter hipotético y tentativo del proceso de indagación científica;
- la interpretación de unos mismos hechos experimentales desde diferentes concepciones;
- el papel jugado por la imaginación y la creatividad;
- las limitaciones de los modelos y de las teorías;
- la evolución en cuanto al significado de los diferentes conceptos, así como el proceso asociado a dicho cambio;
- los problemas no resueltos;
- el papel de la comunidad científica;
- los asuntos controvertidos;
- la importancia de los factores sociales y económicos en la construcción de los conceptos científicos.

Para intentar alcanzar los otros dos objetivos CTS del currículum español:

- [Relaciones de la química con la técnica e implicaciones de ambas en la sociedad: consecuencias de las condiciones de la vida humana y en el medio ambiente. Valoración crítica.
- Influencias mutuas entre la sociedad, la química y la técnica. Valoración crítica.]

se consideró que no existía la misma dificultad que para el caso de la aproximación histórico-filosófica, ya que se disponía de suficiente material al respecto, que podía ayudar a establecer pautas acerca de cómo llevar, de forma efectiva, estas intenciones a la práctica. En concreto, la reflexión realizada por Hoffmann (1997), en el sentido de presentar la química desde su carácter ambivalente podría ayudar a configurar la forma en la que en el libro de texto se tratarían estos dos últimos objetivos, siendo además de importante ayuda cuando se considerase la vertiente histórica. Un excelente libro que puede servir de ejemplo en el tratamiento de estos temas es *Life, Death and Nitric Oxide* (Butler y Nicholson, 2003).

Si uno de los objetivos es enseñar acerca de la química, se imponía incluir un capítulo inicial, no contemplado en el currículum oficial, donde se intentase dar a conocer de forma explícita qué estudia la química y cómo trabajan los científicos. Ello implicaba, en primera instancia, analizar los orígenes de la química moderna y su configuración como ciencia (Quílez, 2002), para, posteriormente, respon-

der a dos preguntas: ¿qué estudia la química? y ¿cómo se trabaja en química? Además, se debía hacer una reflexión acerca de la imagen social de la química, así como los aspectos sociales e históricos que condicionan el trabajo científico. Para ilustrar cada uno de estos apartados se confeccionaron diferentes lecturas que suponían, entre otros aspectos: reconstrucciones de tipo histórico de etapas decisivas en el desarrollo de la química, biografías de químicos realizadas en su contexto histórico y social, controversias científicas o problemas de la vida cotidiana en los que tiene gran importancia el conocimiento químico. Salvo excepciones, las lecturas elaboradas no suelen exceder la extensión de una página, centrándose las mismas en algún caso concreto que se quiere destacar. Además, en muchas ocasiones, al finalizar cada lectura, se propone una actividad que intenta propiciar la discusión con los alumnos y desarrollar alguna de las siguientes capacidades: la argumentación, la crítica, la capacidad de síntesis, etc. La estructura de este primer tema del libro, así como las lecturas que en el mismo corresponden a cada epígrafe, se esquematizan en la tabla III. Un ejemplo de este tipo de lecturas es la que aparece con el título *'La fusión fría'* (ver anexo). En la misma se puede concretar la discusión, entre otros, de los siguientes aspectos: la reproducibilidad de los experimentos, el papel de la comunidad científica, los condicionantes sociales del trabajo de los científicos, el marco teórico desde el que se interpretan los datos experimentales, lugares atípicos de comunicación científica, la necesidad de financiación externa, etc., que pueden responder al planteamiento de los siguientes interrogantes: ¿qué motivó el trabajo?, ¿existen puntos de vista controvertidos?, ¿qué otras explicaciones se produjeron?, ¿cómo se resolvieron estas disputas?, ¿cómo se financió el trabajo?, etc.

El marco que establece este tema inicial se reproduce a lo largo del libro en el resto de los temas que prescribe el currículum oficial. Es decir, se pretende dar continuidad a un análisis que ponga de manifiesto qué estudia la química, cómo trabajan los químicos, en qué contexto lo hacen y cómo afecta este conocimiento al medio ambiente y a nuestras vidas. Por ello, la historia de la química tiene un papel importante en muchos de los puntos de vista iniciados en el primer tema, encontrándose nuevas ejemplificaciones en los temas que siguen. Entre otros, se presenta inicialmente una química en construcción, con dos rasgos esenciales que la configuran como ciencia: formula distintos marcos teóricos

que dan cuenta de toda una serie de hechos y de propiedades, y se da así misma un lenguaje propio (Quílez, 2002). Otros aspectos que pueden analizarse en diferentes contextos a lo largo del libro son: el tipo de formación de los primeros químicos; la importancia de las aplicaciones de la química en la agricultura y en la industria; los principales países encargados de desarrollar todo este conocimiento durante el siglo XIX; el papel jugado por España; la emergencia de un nuevo ámbito (público) de conocimiento científico; la necesidad de comunicación y de intercambio de ideas; la profesionalización de los químicos, etc. (Knight y Kragh, 1998). De esta forma, en cada tema se presentan varias lecturas para ser trabajadas en momentos puntuales del desarrollo de cada uno de ellos (tabla IV). Dado el formato general de las mismas, se posibilita su discusión en clase en un tiempo de unos quince o veinte minutos. Conviene insistir en que no se trata de complementos o de simples adornos más o menos curiosos, sino que sirven para desarrollar y entender el tema en su conjunto, sin que ello suponga emplear un tiempo excesivo, de forma que puede asumirse por el profesorado que participa de estos planteamientos.

Quizás, un evaluador crítico considere que esta aproximación CTS no es suficiente. Pero, se debe hacer notar que, en este caso, se ha procurado llegar a un compromiso para intentar alcanzar cotas importantes acerca de lo que realmente es posible desarrollar en el contexto en el que esta propuesta se desarrolla. Como ejemplo del esfuerzo realizado, conviene destacar el tratamiento que corresponde a los temas dedicados a la química inorgánica descriptiva e industrial y a la química orgánica. Con ello se pretende contribuir a eliminar la presentación tradicional de estos temas a través de una serie de propiedades y de reacciones que los estudiantes deben aprenderse de forma memorística. Estos temas no sólo pueden servir para aplicar, recapitular y globalizar los temas estudiados con anterioridad (estructura atómica y sistema periódico, enlace químico, termodinámica, ácidos y bases o reacciones redox), sino que son una excelente fuente de casos para estudiar la naturaleza del conocimiento científico y las relaciones de la química con la sociedad y con la técnica (Quílez y Llopis, 1990). Todo ello permite la consideración de la componente humanística en el estudio de la química (Glickstein, 2005). Por ejemplo, se propicia el análisis de los riesgos y beneficios de la química (eg. la utilidad inmediata de una nueva sustancia química o de un innovador proceso de

**Tabla IV.** Lecturas CTS propuestas en un libro de química general correspondiente al último curso del bachillerato español (Quílez *et al.*, 2003a).

<p><b>Tema 2. Estructura atómica y el sistema periódico de los elementos químicos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La espectroscopía y la astronomía, dos ciencias vinculadas.</li> <li>• Los éxitos del modelo de Bohr.</li> <li>• Miguel A. Catalán Sañudo y su aportación al desarrollo de los modelos atómicos: el descubrimiento de los multipletes espectrales.</li> <li>• El spin, una propiedad importante de la materia.</li> <li>• Los elementos de la vida.</li> </ul> <p><b>Tema 3. Enlace químico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolución histórica del concepto de enlace químico.</li> <li>• La importancia del agua.</li> <li>• Primeros modelos de enlace a partir del descubrimiento del electrón.</li> <li>• Importancia del enlace de hidrógeno.</li> <li>• Alotropía. Formas alotrópicas del carbono.</li> <li>• Conductores y superconductores moleculares.</li> </ul> <p><b>Tema 4. Termoquímica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comer mal o de forma equilibrada. Ésa es la cuestión.</li> <li>• El efecto invernadero.</li> <li>• Aplicación del principio de conservación de la energía.</li> </ul> <p><b>Tema 5. ¿Por qué suceden las reacciones químicas? Entropía y energía libre</b></p> <p><b>Tema 6. Cinética química</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de reacción y vida diaria.</li> <li>• Importancia de los catalizadores.</li> <li>• El ozono.</li> </ul> <p><b>Tema 7. Equilibrio químico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La ley de acción de masas.</li> <li>• En busca de un modelo para los procesos reversibles.</li> <li>• El principio de Le Chatelier.</li> </ul> <p><b>Tema 8. Reacciones de transferencia de protones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primeras ideas de los conceptos ácido y base.</li> <li>• Importancia de los ácidos y las bases en la vida diaria.</li> <li>• Progresos en química analítica: el empleo de indicadores.</li> <li>• La lluvia ácida.</li> </ul> <p><b>Tema 9. Reacciones de precipitación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El equilibrio de precipitación y la higiene dental.</li> <li>• El agua: el disolvente más importante.</li> <li>• La formación de estalagmitas y estalactitas.</li> </ul>	<p><b>Tema 10. Reacciones de oxidación-reducción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolución histórica de los términos de oxidación y reducción.</li> <li>• Algunas aplicaciones de los procesos redox.</li> <li>• La fotografía en blanco y negro.</li> <li>• La corrosión metálica.</li> <li>• Pilas y acumuladores.</li> <li>• El inicio de la electroquímica.</li> <li>• <i>The Royal Institution</i>.</li> <li>• Aplicaciones de la electrólisis.</li> </ul> <p><b>Tema 11. Elementos de los bloques s y p del sistema periódico.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Importancia de los elementos alcalinos y alcalinotérreos</li> <li>• Importancia del aluminio.</li> <li>• Importancia del monóxido de nitrógeno.</li> <li>• El impacto del arsénico sobre la vida humana.</li> <li>• Sustancias cloradas y medio ambiente.</li> </ul> <p><b>Tema 12. Química industrial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El problema del nitrógeno. La síntesis del amoníaco.</li> <li>• La obtención del hidrógeno a partir del agua: una posible vía alternativa.</li> <li>• Fritz Haber.</li> <li>• Efecto de los compuestos nitrogenados sobre el medio ambiente.</li> <li>• El trabajo de laboratorio en la industria y la química industrial.</li> <li>• El Instituto de Tecnología Química (ITQ).</li> <li>• El Instituto Químico de Sarrià (IQS)</li> </ul> <p><b>Tema 13. Química Orgánica (I). Introducción a la química del carbono. Hidrocarburos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El desarrollo de la química orgánica y su impacto en la sociedad.</li> <li>• De la química orgánica a la química del carbono.</li> <li>• Importancia bioquímica de la estereoisomería.</li> <li>• El caucho y otros elastómeros.</li> <li>• Toxicidad del benceno y de los compuestos aromáticos.</li> </ul> <p><b>Tema 14. Química orgánica (II). Compuestos oxigenados y nitrogenados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos alcoholes importantes: usos y aplicaciones.</li> <li>• Aldehídos y cetonas: presencia en la naturaleza e importancia industrial.</li> <li>• Presencia de ácidos orgánicos en la naturaleza.</li> <li>• Jabones y detergentes.</li> <li>• La aspirina: un medicamento centenario.</li> <li>• El éxtasis.</li> </ul> <p><b>Tema 15. Sustancias y polímeros orgánicos naturales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sorbitol como edulcorante.</li> <li>• Insulina y diabetes. La síntesis de proteínas.</li> <li>• Las grasas saturadas e insaturadas y la salud.</li> </ul> <p><b>Epílogo. Algunos retos de la química del siglo XXI</b></p>
---	--

síntesis frente a su potencial peligrosidad a largo plazo, o su empleo tanto para fines pacíficos como bélicos, etc.), que implica para los individuos y la sociedad un continuo proceso de elección entre diferentes posibilidades, y el establecimiento de un compromiso en la correspondiente toma de decisiones.

Se quiere resaltar de nuevo que se ha procurado que la historia de la química tenga un peso específico adecuado en muchas de las lecturas elaboradas, lo cual nos ayuda a ejemplificar muchos de los aspectos que configuran la naturaleza del conocimiento científico (en este caso, de la química), según hemos esquematizado al principio de este apartado. Además, como señala Matthews (1994), la perspectiva histórica ayuda a organizar y secuenciar los contenidos, y permite conocer las dificultades que los alumnos pueden tener en la construcción de los conceptos relacionados. Por último, señalar que esta dimensión histórica no se restringe exclusivamente a las lecturas elaboradas, sino que también se suele encontrar presente cuando se presenta el tema, así como en otros momentos en el propio desarrollo de cada unidad didáctica. En cualquier caso, quedarían por desarrollar otras formas de trabajar la historia de la química, como pueden ser los trabajos prácticos en los que se adaptan experimentos extraídos de la historia de la química (Kipnis, 2001; Quílez, 2004). Otra forma supone la presentación y discusión de trabajos originales. Pero no es fácil encontrar casos concretos que sean apropiados para este nivel. En nuestra propuesta, esta forma de trabajar la historia de la química sólo se realizó en dos ocasiones: '*Nota científica concerniente a la ley de las octavas de Newlands publicada en la revista Chemical News en marzo de 1866*' y '*Progresos en química analítica: el empleo de indicadores*'.

De forma análoga a la inclusión de la historia de la química, el resto de lecturas intenta presentar las relaciones de los conceptos que se están estudiando con aspectos de la vida diaria, desde diferentes perspectivas, como la histórica, la económica o la sociológica. Además, estos aspectos están presentes también en actividades que se proponen a los alumnos, en figuras o en tablas. Por ejemplo, las investigaciones llevadas por Cros *et al.*, (1984) señalaban que alumnos universitarios de primer año de química sólo eran capaces de mencionar unos pocos ácidos y que esta capacidad disminuía drásticamente para el caso de las bases. Además, indicaban que el pH de una bebida debía ser neutro o próximo a este valor para que fuese inocua. Esta información nos permitió incluir ciertos elementos en el libro para intentar

corregir estas ideas. Por último, se quiere también resaltar que la dimensión social y técnica de la química no finaliza o se agota con lo trabajado en el curso. Por ello, el libro acaba con un epílogo en el que se plantean toda una serie de problemas y de retos que la química del siglo XXI tiene planteados (Garritz, 2002). Estos aspectos problemáticos están relacionados con la mayor parte de los conceptos químicos estudiados a lo largo del curso, y tienen que ver con necesidades relacionadas con la bioquímica, la química medicinal, la alimentación, nuevos materiales, el medio ambiente, la energía o con el intento de conseguir una sociedad mejor.

Finalmente, señalar que se ha elaborado una guía didáctica (Quílez *et al.* 2003b) en la que se recoge la bibliografía utilizada para elaborar las distintas lecturas, de manera que el profesor interesado pueda ampliar lo tratado en el libro, si es que lo considerara conveniente.

En el anexo se recogen algunas lecturas que ejemplifican el enfoque CTS que se ha presentado en los párrafos precedentes. En concreto, en '*El impacto del arsénico sobre la vida humana*' se descubren facetas del arsénico que contrastan con su imagen más extendida de potente veneno, y se finaliza con la presentación del problema que supone la contaminación con arsénico del agua de bebida en distintos países. El carácter ambivalente de la química, que se ejemplifica en la lectura '*Sustancias cloradas y medio ambiente*', encuentra un nuevo caso para el DDT y otras sustancias cloradas. Un nuevo ejemplo de ambivalencia corresponde a la lectura '*Fritz Haber*', que puede servir también para comentar las ventajas y los inconvenientes de los productos derivados de amoníaco, así como para introducir discusiones acerca de cómo trabajan los científicos, el contexto en el que lo hacen y de las responsabilidades que les corresponden de tipo ético. En '*La aspirina: un medicamento centenario*' se puede reflexionar acerca de la ventaja que supone la síntesis de nuevos productos que imitan e incluso mejoran las propiedades de las sustancias naturales; también pueden tratarse controversias acerca de la paternidad de los descubrimientos y de factores que pueden propiciar estas situaciones (Cintas, 2004). La lectura '*El éxtasis*' plantea el problema que implica el consumo de drogas, sobre las que normalmente se tiene un conocimiento sesgado, erróneo, sin fundamento científico. En '*The Royal Institution*' se pueden analizar los siguientes aspectos: el nuevo ámbito (público) del conocimiento científico; la formación de los primeros químicos

y su profesionalización; la importancia de sus descubrimientos; el empleo de nuevas técnicas; la relevancia de los marcos teóricos y de nuevos conocimientos científicos, sin utilidad aparente, en primera instancia; la discusión de ideas; la necesidad de comunicación; aspectos éticos acerca del papel de los científicos en su participación en conflictos bélicos; las relaciones de la química con otras ciencias; etcétera.

### Conclusiones e implicaciones didácticas

Las bases teóricas que sustentan el movimiento CTS han producido una gran diversidad de concreciones didácticas. Muchos libros de texto de química actuales han incorporado ilustraciones de las aplicaciones de la química a la vida diaria, aunque con distinto énfasis y enfoque. Un ejemplo mexicano es el texto de química para el bachillerato de Garritz y Chamizo (1994). Estos tratamientos están realizados desde una perspectiva disciplinar. Pero la incorporación efectiva de las relaciones CTS a las clases se ve limitada por las propias ideas implícitas del profesorado acerca de la enseñanza y el aprendizaje, su propia formación académica y la presión que pueden ejercer pruebas de evaluación externas. Este último aspecto, unido a la existencia de un currículum extenso y cerrado, propician que el profesorado termine restringiendo de forma determinante la utilización de las relaciones CTS con fines didácticos.

Por otro lado, existen una serie de proyectos CTS en los que, por su propia esencia, la organización de contenidos no es disciplinar, sino que se realiza a partir de problemas o de asuntos en los que la química afecta a nuestra vida diaria. De nuevo, la posibilidad de poder realizar esta aproximación viene condicionada por diferentes factores, entre los que se encuentran el nivel académico de los alumnos a los que va dirigida, que suele estar unido a las prescripciones que puede realizar el currículum oficial, los sistemas de evaluación asociados y la existencia de un programa de formación permanente del profesorado. Estos factores suelen limitar la transferencia de algunos proyectos de unos países a otros.

Un aspecto común de la mayoría de los proyectos CTS y de muchos libros de texto de química es que limitan en gran medida la utilización de la historia de la química. En este sentido, parece que la investigación y la innovación CTS no han cambiado la situación que corresponde a la aproximación disciplinar más tradicional. Por tanto, queda pendiente o por desarrollar en gran medida el objetivo de la

filosofía CTS que pretende dar a conocer más acerca de la ciencia y de cómo trabajan los científicos.

En cualquier caso, la utilización de las relaciones CTS con fines didácticos requiere por parte del profesorado la consideración de las fuentes bibliográficas de las que pueda extraer ejemplos apropiados para su discusión en las clases. Pero este conocimiento puede no ser suficiente e incluso puede resultar inapropiado, si no se integra dentro del marco general que la investigación educativa establece sobre el aprendizaje de las ciencias. En concreto, queda mucho trabajo pendiente acerca de cómo transponer los trabajos de historia, filosofía y sociología de la química a las clases de química. Para ello se deberá poner especial cuidado en el empleo de un lenguaje apropiado, así como tener en cuenta el nivel de conocimientos previos de los alumnos, de forma que las adaptaciones tengan sentido para ellos. Además, este trabajo se debe complementar con la integración apropiada en las actividades de clase de los problemas actuales de la química en la vida diaria, en particular, y en nuestra sociedad, en general.

La propuesta de trabajo de las interacciones CTS que se ha presentado en este artículo trata de ser coherente con los presupuestos teóricos que sustentan el movimiento CTS y se integra en un contexto concreto en el que, aunque en teoría prescribe estas relaciones, en la práctica no se propicia su inclusión efectiva en las clases. En este sentido, el factor tiempo juega un papel limitante, que cobra gran relevancia para la mayor parte del profesorado. Por tanto, se trata de una situación de compromiso que ha reflexionado acerca de lo que realmente es posible realizar en las clases. La experiencia propia de los autores del texto, así como de otros profesores que utilizan estos materiales, avalan esta última afirmación. Además, este esfuerzo propicia la motivación de los estudiantes y las clases se desarrollan en un ambiente más relajado. Todo ello no impide que los alumnos superen con éxito la prueba de evaluación externa que se realiza a final del curso. Con todo, no se tienen resultados de investigación que avalen la aproximación CTS realizada.

Si bien es importante la percepción personal de un clima de trabajo apropiado, ya que propicia el interés del alumnado hacia la química, ello no deja de ser un dato relativamente subjetivo. Por tanto, un aspecto pendiente de esta propuesta CTS, que se puede extender a otras, es la integración de la misma dentro de un proyecto de investigación que contemple en el mismo la formación permanente del profe-

sorado. Ello implica crear grupos de trabajo de profesorado de química que, desde marcos teóricos bien fundamentados, le permita criticar y evaluar los materiales elaborados para intentar conocer sus ventajas e inconvenientes y, en su caso, mejorarlos, así como confeccionar otros nuevos o compartir expe-

riencias innovadoras, que posibiliten conocer el grado de aprendizaje de los alumnos y diseñar estrategias de aprendizaje para ayudarles en la construcción de los conocimientos científicos y en el desarrollo de actitudes críticas y responsables para afrontar problemas científicos y técnicos de la vida diaria. ■

## ANEXO

### Lectura 1. La fusión fría

Existen dos procesos nucleares que transfieren una gran cantidad de energía al medio en el que ocurren. El método empleado con fines industriales es el que supone la **fusión nuclear**. Sin embargo, este proceso tiene graves inconvenientes por el tipo y variedad de residuos radiactivos que genera. En cambio, la **fusión nuclear** es un proceso más *limpio*, pero tiene enormes dificultades técnicas ya que necesita unas temperaturas muy elevadas para su producción.

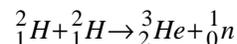
El 23 de marzo de 1989 dos químicos de la Universidad de Utah, M. Fleismann y S. Pons, anunciaron en rueda de prensa la producción de una reacción de fusión nuclear mediante un proceso electroquímico. Se trataba, en definitiva, de un proceso de *fusión fría*. Quizás eligieron esta forma tan poco usual de comunicar el conocimiento científico en un intento de asegurarse prioridad sobre la patente o forzados por las autoridades de la Universidad de Utah para conseguir apoyo económico institucional. Fleismann y Pons tenían conocimiento de los trabajos realizados en una línea de investigación semejante realizados por otro equipo de científicos encabezados por S. Jones.

Tanto Fleismann como Pons ya eran científicos de reconocido prestigio en el campo de la electroquímica. El hecho de que trabajasen juntos se debió a que Pons realizó sus estudios doctorales en la Universidad de Southampton, donde conoció a Fleismann. Éste se trasladó años después a la Universidad de Utah debido a los recortes presupuestarios impuestos en 1983 a las universidades británicas por el gobierno de Margaret Thatcher.

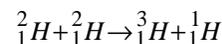
La celda electrolítica –en la que según estos dos científicos tenía lugar el proceso de fusión nuclear– estaba llena de agua pesada (D<sub>2</sub>O), contenía como electrolito ODLi, el ánodo era de Pt y el cátodo de Pd. La gran cantidad de energía transferida que detectaron no la podían explicar mediante posibles reacciones químicas y atribuyeron este hecho a la reacción de fusión de átomos de deuterio para formar átomos de helio. Esta explicación estaba basada en la propiedad que tiene el paladio de absorber grandes cantidades de hidrógeno (en este caso de su isótopo el deuterio).

La gran acumulación de deuterio en el electrodo de paladio originaría unas presiones tan elevadas que serían suficientes para producir reacciones de fusión nuclear del deuterio.

Se sabe que la fusión deuterio-deuterio sigue dos rutas diferentes. Una de ellas conduce a la formación de helio-3 y un neutrón:



y otra produce tritio y un protón:



Por tanto, además del aumento de temperatura se debería detectar la presencia de neutrones y de tritio.

En el mes de abril Fleismann y Pons publicaron un primer artículo en la revista *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Ya en esa fecha numerosos equipos de todo el mundo (informados a través de las noticias de prensa, el teléfono y el correo electrónico, entre otros medios de comunicación) se habían lanzado a intentar obtener helio por fusión nuclear de deuterio en una celda electrolítica. Los resultados de unos parecían confirmar las interpretaciones iniciales pero en cambio otros grupos obtenían resultados negativos.

En la reunión de la *Sociedad de Física Norteamericana* celebrada en el mes de mayo se presentaron formalmente las primeras críticas a la fusión fría. Unos equipos indicaban que Fleismann y Pons habían interpretado mal sus resultados y otros grupos señalaban que habían sido incapaces de reproducir los mismos resultados. Por último, también se señaló que, desde el punto de vista teórico, la fusión fría era imposible. Además, si la cantidad descrita de energía transferida fuese debida a una fusión nuclear, el nivel de neutrones producido habría sido suficiente para matar a cualquiera que estuviese cerca.

Fleismann y Pons intentaron defenderse aportando nuevos datos y señalando que aquellos que no habían obtenido los resultados esperados era debido a que no habían utilizado

una celda electrolítica adecuada en las condiciones idóneas. Sin embargo, aunque el aumento de temperatura producido en el proceso parecía confirmarse, los intentos de detectar neutrones y átomos de tritio por métodos precisos contradecían de forma reiterada, salvo alguna excepción, los datos y las explicaciones iniciales. Éste fue el punto más débil de la investigación iniciada por Fleissmann y Pons.

El Instituto Nacional de la Fusión Fría de Utah se clausuró en junio de 1991. En la actualidad sigue el proceso de investigación acerca de los fenómenos que ocurren en la red deuterio-paladio, aunque no bajo el marco de la fusión fría.

## Lectura 2. El impacto del arsénico sobre la vida humana

Se puede reivindicar para el arsénico un papel singular en su influencia en la vida humana. Cotidianamente, la palabra arsénico tiene una clara connotación de sustancia venenosa, tanto por su empleo doméstico como insecticida y raticida, como por el halo de crímenes y de envenenamientos que ha producido en la vida real, así como en la literatura y en el cine. Por ejemplo, recordemos la exagerada perversidad con la que se suele retratar como envenenadores a los hijos del papa Alejandro VI, Lucrecia y César Borja, los casos de envenenamiento en novelas de Agatha Christie o películas como *Arsénico por compasión*. Sin embargo, un estudio más completo de este elemento indica que también tiene importantes aplicaciones en la industria y como medicamento.

En el terreno industrial, el arsénico se emplea para obtener aleaciones de plomo en la fabricación de baterías. También se utiliza, en pequeñas cantidades, como agente *dopante* de cristales de germanio y de silicio en la obtención de semiconductores, para células fotovoltaicas, y en la fabricación de vidrio. Además, una ingente cantidad de arsénico se emplea en agricultura. Muchos herbicidas orgánicos se obtienen sintéticamente a partir de arsénico, y encuentran aplicación, por el carácter selectivo de las hierbas sobre las que actúan, en plantaciones de algodón y en el mantenimiento de campos de golf; por otro lado, en granjas de cerdos y de pollos nuevas sustancias orgánicas de síntesis se emplean para el tratamiento de parasitosis y de determinadas infecciones en los animales mencionados.

Los minerales *rejalgar* y el *oropimente* son dos sulfuros de arsénico. El primero de ellos fue recomendado por Hipócrates (460-377 aC) para el tratamiento de úlceras y el oropimente se empleó como depilatorio. La *disolución de Fowler* (cuyo componente activo es arsenito de potasio) se empleó desde finales del siglo XVIII como un medicamento de amplio espectro, catalogándose durante el siglo XIX como una especie de curalotodo. Encontró aplicación en el tratamiento de las fiebres palúdicas y de las fiebres intermitentes, así como agente antitumoral y en dermatología. El *salvarsán*

es otro medicamento que contiene arsénico en su estructura. Se trata de una sustancia orgánica, obtenida por Ehrlich a principios del siglo XX por vía sintética, que encontró aplicación en el tratamiento de la sífilis desde 1910 hasta que en 1940 se reemplazó por la penicilina. Otros compuestos orgánicos de arsénico se siguen empleando en la actualidad como medicamentos para combatir la tripanosomiasis. Muy recientemente, el óxido de arsénico (III), comercializado con el nombre de *Trisenox*, se está utilizando para remitir la leucemia en pacientes en los que no tiene éxito la quimioterapia convencional.

El óxido de arsénico (III) es un veneno muy potente; las dosis de 100 mg ejercen un efecto letal. Esta circunstancia, y dado que no se puede detectar por el sabor, hizo que fuera uno de los venenos preferidos durante la Edad Media. El método habitual consistía en invitar a la víctima a un banquete en el que los alimentos habían sido aderezados con el citado óxido. Por ello, muchas personas notables se convirtieron en ‘comedores de arsénico’ con la esperanza de acostumar a su cuerpo a esta sustancia como prevención de un posible intento de envenenamiento. Sin embargo, un amplio estudio realizado a principios del siglo XX demostró que el cuerpo humano no se habitúa a la ingestión de arsénico; parece que más que la cantidad que se ingiere, lo que influye en el organismo es el grado de división en el que se encuentra el óxido, siendo más tóxico cuanto más finamente dividido se halla. Pero, otros comedores de arsénico han buscado también su efecto cosmético sobre la piel. Uno de los ejemplos de esta actividad lo encontramos en los habitantes de Estiria (Austria), quienes, además de buscar los efectos dermatológicos del arsénico, lo utilizaban con el propósito de aumentar su capacidad respiratoria a la hora de subir montañas elevadas. Parece que la frescura y belleza que produce sobre la piel se debe a que el arsénico daña algunos de sus vasos sanguíneos (durante un cierto tiempo fue muy popular entre las prostitutas ya que producía mejillas sonrosadas).

Un potencial peligro del arsénico lo constituye la cantidad que lleve disuelto el agua que se ingiere. Éste es un problema de una gran magnitud en Bengala y Bangladesh, en donde a principios de los años noventa del siglo pasado se empezaron a construir, de forma masiva, pozos, tanto públicos como privados, para abastecerse de agua. Hasta entonces, se empleaba para este fin el agua procedente de fuentes, lagunas y ríos. Pero su contaminación microbiana ocasionaba muchos casos de disentería, tífus, cólera y hepatitis. La alternativa ha resultado ser la causa un aumento de muertes y de enfermedades debido a que el agua de los pozos está contaminada por contener una alta concentración de arsénico. El problema de la contaminación del agua de los pozos por arsénico también existe en Taiwan, China, Canadá, México, Argentina y Finlandia.

### Lectura 3. El éxtasis

Desde la Antigüedad son conocidos los efectos estimulantes de las plantas de la especie *Ephedra*. A finales del siglo XIX se aisló y se dilucidó la estructura de uno de sus componentes: la efedrina. Una de las primeras aplicaciones de esta anfetamina consistió en su utilización como broncodilatador en pacientes asmáticos.

A principios del siglo XX se inició un programa de investigación de nuevos medicamentos que implicaba la síntesis de sustancias con estructura análoga a la efedrina. En el año 1912 la compañía farmacéutica Merck patentó una ruta sintética para obtener MDMA (siglas del nombre en inglés, *methylenedioxymethamphetamine*), pero no llegó a utilizarse como medicamento. Otras anfetaminas sintéticas mostraron su efecto sobre el sistema nervioso central, comprobándose que incrementaban la capacidad para mantener la atención. Sus efectos estimulantes, entre los que se encuentran la posibilidad de aumentar el tiempo en el que se está despierto y la generación de estados euforizantes, hicieron muy populares a las anfetaminas durante casi medio siglo. Su abuso y su empleo inadecuado (por ejemplo, muchos estudiantes las usaban en época de exámenes) ha hecho que el uso de las anfetaminas como medicamentos esté sujeto a un especial control médico.

En la década de los años ochenta del siglo pasado el MDMA apareció como droga de moda entre la juventud que asistía a discotecas. Se conoce popularmente como *éxtasis*. La persona que lo acaba de tomar se siente desinhibida, y se manifiesta muy locuaz. Al mismo tiempo, se incrementa notablemente el pulso cardíaco y se aumenta la producción de sudor, con sequedad en la boca, seguido todo ello un periodo de serenidad y calma, con sentimientos emotivos que facilitan la comunicación y la empatía.

El éxtasis es considerado por sus consumidores como una droga segura. Sin embargo, un solo comprimido puede ser mortal, y su consumo reiterado puede producir efectos irreversibles en el cerebro. Además, por tratarse de una droga ilegal, el consumidor desconoce en cada caso la composición de los comprimidos (en el mercado negro existe un sinfín de presentaciones: colores, 'marcas', tamaños, etc.). La inexistencia de un control de calidad propicia que sus productores, con el ánimo de obtener el máximo beneficio, fabriquen una multiplicidad de explosivos cócteles de sustancias, entre las que se encuentran la cafeína, el LSD, anestésicos u otras anfetaminas, llegando incluso a encontrar comprimidos contaminados con aluminio o con mercurio. A pesar de ello, muchos jóvenes dicen que confían en su *camello* (sic).

El éxtasis produce hipertermia y aumenta la capacidad de ejercicio físico, como el bailar incansablemente, lo que aumenta todavía más la temperatura corporal. Estos efectos,

unidos a la existencia de un ambiente cálido y húmedo en la sala de baile, y a la escasa ingestión de líquidos para reemplazar el agua perdida por el abundante sudor, pueden provocar en algunos individuos que su temperatura se incrementa hasta los 43°C. Si este aumento no se trata rápidamente, la muerte sobreviene en muy poco tiempo. Además, la mayoría de los casos letales se han producido en jóvenes que han perdido la percepción del estado crítico en el que se encontraban, lo cual les ha imposibilitado el tomar medidas para bajar su temperatura. Pero también se han dado casos en los que para evitar los efectos de hipertermia y de deshidratación, se ha consumido previamente una excesiva cantidad de agua, provocando con ello un aumento en los tejidos del cerebro y, finalmente, la muerte. En otros casos, los efectos fatales de esta droga se han debido a un ataque al corazón o a un derrame cerebral. A los trastornos de hipertermia y cardiovasculares, se deben añadir otros graves efectos sobre el organismo, como son una insuficiencia renal aguda, convulsiones o manifestaciones tóxicas sobre el hígado.

Entre los trastornos psiquiátricos, se han descrito los siguientes: la psicosis paranoide, la depresión, el estado de ansiedad y las crisis de pánico, entre otros.

Pero los peligros del consumo de MDMA no se limitan a sus efectos a corto plazo, ya que pueden provocar daños irreparables en el cerebro. Existen estudios científicos que muestran la capacidad del éxtasis para producir una degeneración selectiva de las neuronas que utilizan como neurotransmisor tanto la serotonina como la dopamina. Estas células nerviosas se encuentran involucradas en numerosas funciones y conductas (humor, ansiedad, apetito, sueño, conocimiento). En último término, el MDMA podría causar enfermedades como el Parkinson. Con todo, se debe hacer notar que en la actualidad (noviembre de 2002), la comunidad científica se encuentra debatiendo (véase, por ejemplo, la revista *Science*) los efectos que el consumo de éxtasis provoca a largo plazo.

### Lectura 4. La aspirina: un medicamento centenario

Los medicamentos que son 'productos naturales', como los que se obtienen directamente de las plantas, tienen el inconveniente de que se encuentran limitados a la cantidad de planta específica disponible para su extracción. Factores geográficos, estacionales y de producción a gran escala limitan la obtención directa de medicamentos a partir de las plantas. Por ello, una vez conocido el principio activo que dota a una determinada especie vegetal de sus propiedades terapéuticas, los químicos tratan de obtenerlo de forma sintética y de mejorar sus propiedades realizando pequeñas variaciones en su estructura química.

Hipócrates, un médico célebre que vivió en el siglo

V aC, recomendaba a sus pacientes la corteza del sauce como remedio para remitir el dolor. Desde épocas muy remotas se han empleado la corteza y las hojas del sauce para mitigar el dolor en casos neuralgia y de reumatismo. En el año 1763, el reverendo Stone publicó una carta en la revista *Philosophical Transactions* en la que comunicaba el empleo de la corteza del sauce para tratar la fiebre.

Durante el siglo XIX se intentaron aislar las sustancias responsables del poder curativo del sauce. En 1833, E. Merck obtuvo salicina pura, y en 1838, el químico italiano Raffaele Piria aisló otro compuesto que denominó ácido salicílico.

En 1860, Kolbe y Lautermann sintetizaron el ácido salicílico, lo cual les sirvió para desarrollar una floreciente industria química de productos derivados con finalidades farmacéuticas.

Tradicionalmente, la síntesis de la aspirina se debe a F. Hoffmann, un químico que a finales del siglo XIX trabajaba en la casa Bayer. Pero según el historiador de la ciencia W. Sneader, el verdadero padre de la aspirina fue A. Eichengrün, quien se encargaba de supervisar el trabajo de Hoffmann. Según Sneader, la Alemania nazi surgida de las elecciones de 1933 se encargó de promover a un inventor ario, en lugar de a uno judío. Únicamente cuando acabó la II Guerra Mundial y después de ser liberado de un campo de concentración checoslovaco, Eichengrün, a la edad de 7 años, pudo comunicar a la comunidad científica sus aportaciones a la síntesis de la aspirina. Su trabajo apareció publicado en la revista *Pharmazie* en 1949, poco después de su muerte. En este trabajo se refuta con vehemencia la paternidad de Hoffmann, señalando que fue a él a quien se le ocurrió la síntesis de un derivado del ácido salicílico que evitase los desagradables efectos que producía éste (principalmente, irritación estomacal y náusea). De esta forma se ponían en entredicho las razones argüidas por Hoffmann en 1934 en el libro *Historia de la Farmacología*. En este tratado se explica que el padre de Hoffmann padecía reumatismo. Para su tratamiento tomaba salicilato de sodio, cuyo sabor amargo detestaba, produciéndole además una fuerte irritación gastrointestinal. Según Hoffmann, esta circunstancia le llevó a utilizar como sustancia alternativa el ácido acetilsalicílico. El procedimiento sintético de la aspirina desarrollado por la casa Bayer mejoraba el proceso de obtención de este ácido realizado por el químico francés Ch. Gerhart en 1853, lo que permitió utilizarlo como medicamento. Después de un primer rechazo (se creía que la aspirina era cardiotoxica), la compañía Bayer decidió lanzarlo al mercado. Era el 1 de febrero de 1899. Desde entonces se consumen en todo el mundo toneladas de esta sustancia.

Con este medicamento se ha producido un fenómeno poco frecuente. En lugar de decrecer su popularidad con el

paso de los años o de ser sustituido por otros medicamentos que lo superen, su uso ha ido aumentando con el tiempo gracias a las nuevas aplicaciones que se han encontrado. En un principio se empleó como **antipirético, analgésico y antiinflamatorio**. En 1950 L. Graven fue el primero en utilizar la aspirina para **evitar la formación de coágulos** en cuadros de infarto de miocardio o de trombosis cerebral, ya que previene la acumulación de plaquetas. También se ha descrito que disminuye en un 40% la mortalidad debida a cáncer de estómago y que favorece la oxigenación de la sangre en el cerebro.

Tomada por vía oral, la aspirina pasa a la sangre atravesando la mucosa gástrica, hasta el hígado, distribuyéndose posteriormente al resto del organismo. El factor que limita su empleo radica en su **toxicidad gástrica**. Un consumo excesivo o inadecuado puede provocar pequeñas hemorragias, por lo que no se debe recurrir a la automedicación, sobre todo en pacientes con problemas gastrointestinales.

### Lectura 5. Fritz Haber

En los primeros años del siglo XX, Alemania mantenía su posición puntera en el campo de la química orgánica (tanto en el aspecto científico como en el industrial). **E. Fischer** (premio Nobel de Química en el año 1902) se encargó de dirigir la *Kaiser Wilhelm Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft*, una institución semipública de investigación fundada en 1910 por el emperador con el fin de beneficiar grandemente a la ciencia alemana. Esta institución estaba financiada por L. Koppel, un respetable banquero judío que consiguió que otro importante científico **F. Haber** dirigiese un nuevo instituto de investigación dedicado a la química-física. Con **M. Planck** y **W. Nernst**, reputados expertos en física, Haber convenció a **A. Einstein** para que se trasladase a Berlín, donde muchos jóvenes y excelentes científicos se habían incorporado también al equipo de trabajo.

Haber alcanzó fama internacional al resolver el problema de la obtención de una fuente barata de nitrógeno asimilable por las plantas mediante un procedimiento que suponía la síntesis del amoníaco a partir de nitrógeno atmosférico y de hidrógeno. En el año 1918 se le concedió el premio Nobel de Química por el desarrollo de este método sintético. La *Academia Sueca de Ciencias* había calificado la obtención directa del amoníaco como *'un medio extraordinariamente importante para el desarrollo de la agricultura y de la humanidad'* y felicitaba al científico alemán por el *'triumfo en este servicio a su país y a la humanidad'*. Por su parte, en su discurso de aceptación del premio Nobel, Haber pronunció las siguientes palabras: *'Un interés profesional particular en la obtención del amoníaco a partir de sus elementos buscaba el logro de un resultado simple por medio de un equipo especial. Un interés más*

*amplio se debía a que, si se realizara la síntesis del amoníaco a partir de sus elementos, en gran escala, tendríamos una forma útil de satisfacer importantes necesidades económicas. Tales aplicaciones prácticas no fueron el propósito principal de mis investigaciones. Por otra parte, difícilmente me hubiese concentrado tanto en este problema, si no hubiese estado convencido de la necesidad económica del avance químico en este campo, y si no hubiese compartido plenamente la convicción de Fichte que, mientras que el objetivo inmediato de la ciencia es su propio desarrollo, su fin último debe estar ligado a la influencia moldeadora que ejerce, en el momento oportuno, sobre la vida en general y sobre toda organización humana de las cosas que nos rodean.* Uno de sus colaboradores, **C. Bosch**, también fue galardonado, en 1931, con el premio Nobel por el desarrollo tecnológico que supuso la aplicación industrial de la obtención del amoníaco. Sin embargo, la contribución de otro importante colaborador, **Mittasch**, fue olvidada a nivel institucional.

El año 1914 supuso un cambio radical en la labor científica de Haber. Su carácter autoritario, su gran ambición y su falta de escrúpulos dieron lugar a que Haber, condicionado por el contexto bélico de la Primera Guerra Mundial, tuviera un papel relevante en la fabricación y aplicación de las denominadas 'armas químicas'.

Debido al estancamiento de los frentes de guerra como consecuencia del establecimiento de inmensas trincheras, Haber propuso el uso del gas cloro (más denso que el aire), de efectos irritantes y asfixiantes, destinado a obligar a los soldados enemigos a abandonar las trincheras. El propio Haber participó en la aplicación de cloro en el frente de combate de Ypres (en la costa belga), en 1915. Tras estas primeras acciones, las tropas inglesas y francesas respondieron empleando otros gases como el bromoacetato de etilo y el yodoacetato de etilo. En el año 1916, a propuesta de Haber, se puso en funcionamiento la *Fundación Kaiser Guillermo para las Ciencias Técnicas y Militares*. Fischer y el propio Haber se encargaron de dirigir la nueva organización. Con la ayuda de un presupuesto considerable y un material humano numeroso y cualificado se desarrollaron nuevas armas químicas. Durante la guerra se emplearon por los dos bandos un total de 25 gases tóxicos, entre los que destacan el gas mostaza y el fosgeno.

Alemania fue derrotada en 1918. Posteriormente, Haber fue declarado criminal de guerra, exiliándose a Suiza donde esperó a que fuera abandonada su petición de extradición para volver a Alemania. Como vemos, el servicio de Haber a su profesión y a su país produjo unos resultados que permitieron calificarle, tanto como benefactor de la humanidad como criminal de guerra. El trabajo de Haber ejemplifica los múltiples casos en los que el talento científico no ha tenido demasiados problemas en dejarse conducir a aquellas áreas de investigación en las que las prioridades

nacionales han puesto recursos humanos y materiales para resolver con urgencia problemas de índole militar.

Una vez instalado de nuevo en Alemania, Haber centró sus esfuerzos en la reconstrucción del país, continuando sus investigaciones (secretas) sobre armas químicas e investigando la viabilidad de extraer oro de los océanos. Pensó que esta posibilidad permitiría a Alemania afrontar la deuda impuesta después de la guerra: treinta y tres mil millones de dólares. El programa fracasó ya que finalmente se demostró que el agua de mar contiene mucho menos oro que el suficiente para hacer viable un proceso a escala industrial.

La llegada al poder de los nazis en 1933 provocó que todos los funcionarios de origen judío fuesen despedidos. A pesar del origen judío de Haber, la ley no le afectó en principio ya que excluía a los veteranos de guerra. Sin embargo, Haber renunció abandonando su país para establecerse en Inglaterra. En Cambridge fue recibido con los brazos abiertos por **W. Pope**, su rival en la guerra química. Haber murió en 1934 de una crisis cardíaca cuando viajaba a Suiza.

## Lectura 6. Sustancias cloradas y medio ambiente

Existe una gran variedad de procesos industriales en los que el cloro molecular,  $\text{Cl}_2(\text{g})$ , se emplea para la obtención de una ingente cantidad (más de 15,000) de sustancias cloradas de diversa utilidad. Así, esta sustancia se utiliza directamente como agente blanqueador en la fabricación de papel y de textiles; también encuentra aplicación en la potabilización de agua para el consumo humano por su capacidad para destruir bacterias y en la fabricación de plásticos como el PVC o de pigmentos para pinturas ( $\text{TiO}_2$ ), así como en la obtención de insecticidas y de disolventes para el lavado en seco (como el cloroformo,  $\text{CHCl}_3$  –antiguamente utilizado como anestésico– y el tetracloruro de carbono,  $\text{CCl}_4$ ). Estas dos sustancias cloradas dañan el hígado y pueden producir cáncer, por lo que su empleo es cada vez más restringido. Por su parte, el cloruro de sodio (sal de cocina) es uno de los compuestos más familiares de cloro. Este compuesto, aparte de su utilización para condimentar y curar alimentos, también se emplea para fundir la nieve en caminos y carreteras. Históricamente, ha tenido una enorme importancia y valor. Por ejemplo, su nombre viene por haberse utilizado como pago (salario) a los legionarios romanos. También es la materia a partir de la que, por electrólisis, se obtiene cloro gas.

En la naturaleza, el cloro se presenta principalmente en forma de ion cloruro,  $\text{Cl}^-$ . Los compuestos orgánicos naturales que contienen el enlace C – Cl son raros, aunque de creciente importancia. Las sustancias organocloradas encontradas en esponjas, algas marinas y hongos han manifestado ser una importante fuente de sustancias con propiedades

bactericidas, insecticidas y antitumorales. La feromona sexual de muchas especies de garrapatas es un sustancia clorada, de modo que su síntesis permite que se pueda emplear para el control de estos insectos; por su parte, las termitas son grandes productoras de clorofomo. También se han encontrado algunas sustancias organocloradas naturales en mamíferos. Normalmente, estos animales encuentran gran dificultad para metabolizar compuestos organoclorados procedentes del exterior.

Ya hemos comentado en el tema 1 el desarrollo de plaguicidas a partir de la Segunda Guerra Mundial y que entre los más empleados destacó el DDT. La toma de conciencia ecológica por los efectos que esta sustancia provocaba en la naturaleza se produjo fundamentalmente gracias al libro *Silent Spring*, publicado en 1962 y escrito por la zoóloga estadounidense Rachel L. Carson. Pero llamar al DDT 'el elixir de la muerte' (su acumulación en la cadena alimentaria lo hace peligroso para pájaros y peces, aunque su toxicidad es baja para los mamíferos, ya que su dosis letal es alta: 0,5 g/kg), como hizo esta autora, quizás sea excesivo. El caso del DDT es un ejemplo claro de la ambivalencia de la ciencia. En 1948, Paul H. Møller recibió el premio Nobel de Medicina por "su descubrimiento de la alta eficiencia del DDT como veneno de contacto contra varios artrópodos". Este insecticida se empleó con éxito para luchar contra epidemias de tifus y para erradicar la malaria en algunos países como Italia, estimándose que ha salvado más de 50 millones de vidas. El premio Nobel de Química Max F. Perutz llamó la atención de que en Sri Lanka (antigua Ceilán) se consiguió reducir los casos de malaria de 2,8 millones en 1946 a 150 en 1964, año en el que cesaron las fumigaciones con DDT; cuatro años después hubo más de 460 000 casos y en 1970 1,5 millones, con la particularidad de que ahora el mosquito se ha hecho resistente al DDT y a la mayoría de los insecticidas. Un caso semejante ocurrió en India. Si hubiesen seguido fumigando, como hizo Italia, no habrían perdido su oportunidad de dejar de ser una zona endémica de la enfermedad. Además, el DDT controló, decisivamente, por sí solo, la población de insectos del mundo, permitiendo con ello salvar las cosechas para abastecer de alimento a la población humana. Este ejemplo nos ayuda a realizar una reflexión acerca de los usos de la química.

El conocimiento de las ventajas y de los peligros que comporta el empleo de sustancias químicas supone la toma de decisiones responsables que puedan implicar las mejores soluciones (necesariamente, en muchos casos, a medio y largo plazo). Esa responsabilidad nos afecta a todos, ya que estos problemas son, en esencia, políticos; nuestra sociedad debe tener formación e información suficientes para solicitar a los científicos que utilicen sus conocimientos en la mejora de la calidad de vida. Pero la adopción de medidas concretas,

la elección de prioridades y el plazo de ejecución del conjunto de las mismas, no es un problema exclusivamente técnico, sino que compete a los poderes públicos, que siempre deben estar al servicio de la sociedad, y bajo su control.

Más recientemente, un nuevo tipo de productos organoclorados ha activado los sistemas de alarma medioambientales. Se trata de las denominadas *dioxinas*. Estas sustancias no tienen ningún interés industrial, pero se producen en pequeñas cantidades en los procesos de degradación de compuestos organoclorados, fundamentalmente en su combustión (una de las principales vías de contaminación es la incineración de sustancias de desecho en industrias químicas de compuestos clorados). Las dioxinas, una vez formadas, persisten durante largos periodos en la biosfera (igual que ocurre con el DDT). Estas sustancias afectan a una gran variedad de especies animales, no estando el hombre, por tanto, exento de una eventual contaminación. A pesar de que las cantidades emitidas al medio ambiente son relativamente pequeñas, el hecho de que las dioxinas sean hidrófobas hace que se dificulte en el organismo su procesamiento y excreción, acumulándose, en consecuencia, de forma paulatina, en el tejido adiposo. Cuando se alcanzan unos ciertos valores, estas sustancias tóxicas afectan al sistema inmunitario y al reproductor.

Para evitar la contaminación por dioxinas se debería paralizar la producción de sustancias cloradas. Dado que por múltiples motivos (económicos, laborales, sociales, técnicos y científicos) hoy en día no es ello posible, los químicos están buscando métodos de degradación de las dioxinas para formar nuevas sustancias que no sean tóxicas.

### Lectura 7. The Royal Institution

Esta sociedad científica fue fundada en Londres en el año 1799 con el objetivo principal de difundir el conocimiento científico, intentando que éste empezase a tener rango de conocimiento público. Reproducimos de forma literal sus principales finalidades: *'...diffusing the knowledge, and facilitating the general instruction, of useful mechanical inventions and improvements: and for teaching, by courses of philosophical lectures and experiments, the application of science to the common purposes of life.'*

Esta institución llegó a ser muy conocida y alcanzó un gran prestigio a partir de la incorporación de Humphrey Davy (1778-1829). Este científico inició estudios de medicina pero también estaba interesado por la química, que estudiaba por su cuenta. Ello le llevó a leer el *Tratado Elemental de Química* de Lavoisier. A pesar de su formación autodidacta repitió y corrigió experimentos ya descritos y realizó otros nuevos. Su interés por la química le llevó a conocer al profesor de la Universidad de Oxford T. Beddoes quien persuadió a Davy para que trabajase como asistente suyo en el estudio de los gases que previamente había caracterizado

Priestley y que Beddoes pensaba que podían tratar la tuberculosis. Los estudios que Davy publicó acerca del óxido nitroso (gas hilarante) y el ataque efectuado a la teoría del calórico de Lavoisier le proporcionaron una rápida notoriedad. Ello propició su contratación como profesor de Química en la *Royal Institution*.

Las conferencias públicas que impartía Davy en esta institución resultaron muy populares. Además, el descubrimiento en 1807 del sodio y del potasio mediante la nueva técnica de la electrólisis proporcionó tanto a Davy como a la *Royal Institution* un rápido reconocimiento. La posterior obtención electrolítica de otros elementos: magnesio, calcio, estroncio y bario contribuyó a reforzar su prestigio. En 1815, un instrumento desarrollado por Davy en el laboratorio, su lámpara de seguridad para las minas de carbón, resolvió un grave problema de la industria y, por supuesto, para la vida de los mineros.

En el año 1812, un joven aprendiz de encuadernador, llamado Michael Faraday (1791-1867), pudo asistir a un ciclo de conferencias realizadas por Davy. Este contacto sería decisivo para la posterior carrera del joven Michael.

Faraday había despertado su interés por la química mediante la lectura de los libros que llegaban a la tienda donde trabajaba. Entre los libros estudiados por este autodidacta se encontraba el de la química Jane Marcet *Conversations on Chemistry*, en donde se consideraba a la electricidad como un elemento más. Además, la lectura de los artículos de la *Encyclopaedia Britannica* le permitió familiarizarse con las técnicas y conceptos químicos y, en particular, con los relacionados con la electricidad.

Todo este conocimiento lo pudo desarrollar con la asistencia a las discusiones científicas que se realizaban en la casa de J. Tatum, donde pudo conocer a miembros de la *City Philosophical Society*, que estaba compuesta por personas interesadas por temas científicos. En particular, mantuvo correspondencia con B. Abbott defendiendo los postulados experimentales de Davy referentes a que el *ácido muriático* (en la actualidad ácido clorhídrico) no contenía oxígeno, sino otra sustancia a la que Davy llamó cloro (caracterizado por Scheele y bautizado por Lavoisier como ácido oximuriático).

G. Riebau, el encuadernador que contrató a Faraday, presentó a un amigo las notas que su aprendiz había tomado en la casa de Tatum. Ello propició que el perceptivo estudiante fuese invitado a las cuatro conferencias que Davy realizó en abril de 1812 en el teatro de la *Royal Institution*. Posteriormente Faraday envió a Davy las notas de estas conferencias como carta de presentación para solicitarle un trabajo como asistente suyo. Contratado a los pocos meses, Faraday inició una fructífera carrera al lado de Davy. En 181 iniciaron juntos un viaje alrededor de Europa, lo cual permitió a Faraday ampliar sus conocimientos científicos, formándose

se con el contacto de muchos de los más relevantes científicos de la época. Durante este viaje realizaron diferentes investigaciones; en una de ellas demostraron que el diamante sólo está compuesto por un único elemento, el carbono.

En el año 1825 Faraday sustituyó a Davy como director del laboratorio de la *Royal Institution*. Entre las aportaciones químicas más importantes de Faraday destacan el descubrimiento del benceno y la determinación de su composición; también desarrolló importantes técnicas de licuefacción de gases. Además, estudió de forma cuantitativa la relación existente entre la intensidad de corriente que circula por una cuba electrolítica y la cantidad de materia que se forma en cada uno de los electrodos, acuñando nuevos términos relacionados con estos fenómenos: ánodo, cátodo, ion, electro-lito, electrólisis, etc. En el campo físico realizó importantes aportaciones tanto experimentales como teóricas relacionadas con el electromagnetismo.

Su relevancia como científico propició que, durante la Guerra de Crimea en 1850, el gobierno británico le encargara una investigación que posibilitara la preparación de grandes cantidades de gases venenosos para su empleo en el campo de batalla. Faraday rehusó su participación en este proyecto. ■

## Bibliografía

- Aikenhead, G. S., STS Education: A rose by any other name. En Cross, R. (Ed.), *Crusader for science education: celebrating and critiquing the vision of Peter J. Fensham*. Nueva York: Routledge. 2002. <http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/stsed.htm>
- Atkins, P., *Atkins' molecules*. Cambridge University Press: Cambridge. 2003.
- Baird, J.R., Teachers in science education. En Fensham, P. (Ed.), *Development and dilemmas in science education*, pp. 55-72. The Falmer Press: Londres. 1988.
- Ball, P., *Designing the molecular world*. Princeton Science Library. 1994.
- Bevilacqua, F.; Gianneto, E. y Matthews, M.R., *Science and culture. The contribution of history and philosophy of science*. Kluwer: Dordrecht. 2001.
- Bucat, R., Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education, *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 215-228, 2004.
- Burton, W.G.; Holman, J.S.; Pilling, G.M. y Waddington, D.J., Salters advanced chemistry. A revolution in pre-college chemistry, *Journal of Chemical Education*, 72(3), 227-230, 1995.
- Burton, W.G.; Holman, J.S.; Pilling, G.M. y Waddington, D.J., *Salters advanced chemistry. Chemical storylines*. Heinemann: Oxford. 1994.
- Burton, W.G.; Holman, J.S.; Pilling, G.M. y Waddington, D.J., *Salters advanced chemistry. Chemical storylines*. Heinemann: Oxford. 1994.
- Butler, A. y Nicholson, R., *Life Death and Nitric Oxide*. RSC: Cambridge. 2003.
- Caamaño, A.; Llopis, R.; Matín-Díaz, M.J.; Anglés, M.; Bassedas, M.; Corominas, J.; Fuster, R.; Gómez-Crespo, M.A.; Gutiérrez, M.S.; Llorens, J.A.; Mayós, C.; Puigvert, T.; Quílez, J.; Recreo, F. y Sansó, I. Proyecto Química Salters, *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 68-72, 1999.
- Chiappetta, E.L.; Sethna, G.H. y Fillman, D.A., A quantitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literacy themes and expository learning aids, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 939-951, 1991.

- Cintas, P., The road to chemical names and eponyms: discovery, priority and credit, *Angew. Chem Int. Ed.*, **43**, 5888-5894. 2004.
- Conant, J.B., *On understanding science*. Yale University Press: Nueva York. 1947.
- Conant, J.B., *Harvard case histories in experimental science*. Harvard University Press: Cambridge. 1957.
- Cros, D.; Maurin, M. y Leber, J., Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and notions of acids and bases, *European Journal of Science Education*, **8**(3), 305-313, 1984.
- De Jong, O.; Veal, W.R. y Van Driel, J. H., Exploring chemistry teachers' knowledge base. En Gilbert, J.K.; De Jong, O.; Justi, R. Tieagust, D.F. y Van Driel, J.H. (Eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 369-390. Kluwer: Dordrecht. 2002.
- Djerassi, C. y Hoffmann, R., *Oxígeno*. FCE: México. 2003.
- Duschl, R. A., Research on the history and philosophy of science. En Gable, D. y Bunce, D. (Eds.), *Handbook of research on science teaching and learning*. Macmillan: Nueva York. 1994.
- Eijkelhof, H.M.C.; Boeker, E.; Raat, J.H. y Wijnbeek, N.J., *Physics in society*. VU-Bookshop: Amsterdam. 1981.
- Eikelhof, H.M.C.; Kortland, K. y Lijnse, P.L. STS through physics and environmental education in the Netherlands, En Yager, R. E. (Ed.) *Science/Technology/Society as a reform in science education*, pp. 349-260. State University of New York Press: Nueva York. 1996.
- Emsley, J., *Moléculas en una exposición. Retratos de materiales interesantes de la vida cotidiana*. Península: Barcelona. 2000.
- Emsley, J., *The 13<sup>th</sup> element. The sordid tale of murder, fire, and phosphorus*. Willey: Nueva York. 2000.
- Fensham, P.J., Science for all: theory into practice, *Educación Química*, **6**(1), 50-54. 1995.
- Fernández, R. (Ed.) *La química en la sociedad*. UNAM: México. 1994
- García-Moliner, F., *La ciencia descolocada*. Laberinto: Madrid. 2001.
- Garritz, A., Ciencia-Tecnología-Sociedad. A diez años de iniciada la corriente, *Educación Química*, **5**(4), 217-223, 1994.
- Garritz, A. y Chamizo, J.A., *Química*, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington USA, 1994. Una segunda edición apareció con el título *Tú y la química*, editado por Pearson Educación en México, 2001.
- Garritz, A., Algunos retos de la química en el siglo XXI, *Educación Química*, **13**(4), 222-225, 2002.
- Garritz, A. y Tiinidad-Vdasco, R., El conocimiento pedagógico del contenido, *Educación Química*, **15**(2), 98-102, 2004.
- Gil, D., ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(1), 69-77, 1991.
- Glickstein, N., Putting a human face on equilibrium, *Journal of Chemical Education*, **83**(3), 391-392. 2005.
- Hoffmann, R., *Lo mismo y no lo mismo*. Fondo de Cultura Económica: México. 1997
- James, M.; Derbogolian, M.; Bowen, S. y Auteri, S., *Chemical Connections. Book One*. The Jacaranda Press: Milton. 1991.
- James, M. y Stokes, R., *Chemical Connections. Book Two*. The Jacaranda Press: Milton. 1992.
- Karukstis, K.K. y VanHecke, G.R., *Chemical connections. The chemical basis of everyday phenomena*. Harcourt: Burlington. 2000.
- Kipnis, N., Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. En Bevilacqua, F.; Gianneto, E. y Matthews, M.R. (Eds.), *Science and culture. The contribution of history and philosophy of science*, pp. 255-271. Kluwer: Dordrecht. 2001.
- Knight, D. y Kragh, H., *The making of the chemist. The social history of chemistry in Europe 1789-1914*. Cambridge University Press: Cambridge. 1998.
- Le Couteur, P. y Burreson, J., *Napoleon's buttons. How 17 molecules changed history*. Tarcher/Putnam: Nueva York. 2003.
- Matthews, M.R., Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, **12**(2), 255-277, 1994.
- Novak, J.D., Application of advances in learning theory and philosophy of science to the improvement of chemistry teaching, *Journal of Chemical Education*, **61**, 607-612, 1984.
- Perutz, M.F., *Los científicos, la ciencia y la humanidad*. Granica: Barcelona. 2002.
- Quílez, J., Aproximación a los orígenes de la química moderna, *Educación Química*, **13**(1), 45-54, 2002.
- Quílez, J., A historical approach to the development of chemical equilibrium through the evolution of the affinity concept: some educational suggestions, *Chemical Education: Research and Practice*, **5**(1), 69-87, 2004.
- Quílez, J. y Llopis, R., La importancia de la química descriptiva en la enseñanza de la química. Propuesta de un modelo para su aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**, 282-285, 1990.
- Quílez, J.; Lorente, S.; Sendra, F.; Chorro, F. y Enciso, E., *Química-2*. ECIR: Valencia. 2003a.
- Quílez, J.; Lorente, S.; Sendra, F.; Chorro, F. y Enciso, E., *Química-2. Guía didáctica*. ECIR: Valencia. 2003b.
- Roberts, D.A. What counts as science education? En Fensham, P. (Ed.), *Development and dilemmas in science education*, pp. 27-54. The Falmer Press: Londres. 1988.
- Rodríguez, M.A. y Niaz, M., How in spite of rhetoric, history of chemistry has been ignored in presenting atomic structure in textbooks, *Science & Education*, **11**, 423-441, 2002.
- Sacks, O., *El tío Tungsteno. Recuerdos de un químico precoz*. Anagrama: Barcelona. 2003.
- Sayre, A., *Rosalind Franklin y el ADN*. Horas y horas: Madrid. 1997.
- Schwarcz, J., *Radar, hula hoops, and playful pigs*. Freeman: Nueva York. 2001.
- Selinger, B., *Chemistry in the market place*. Hartcourt Brace: Sidney. 1998.
- Selinger, B., *Why the watermelon won't ripen in your armpit?* Allen & Unwin: St Leonards. 2000.
- Solbes, J. y Vilches, A., La introducción de las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias y su evolución, *Educación Química*, **11**(4), 398-394, 2000.
- Solomon, J., *Science in a social context (SisCon)*. Basil Blackwell and the Association for Science Education: Reino Unido. 1983.
- Solomon, J., The dilemma of science, technology and society education. En Fensham, P. (Ed.), *Development and dilemmas in science education*, pp. 266-281. The Falmer Press: Londres. 1988.
- Solomon, J., STS in Britain: science in a social context. En Yager, R.E. (Ed.) *Science/Technology/Society as a reform in science education*, pp. 241-248. State University of New York Press: Nueva York. 1996.
- Stanitski, C.L.; Eubanks, L.P.; Middlecamp, C.H. y Stratton, W.J., *Chemistry in context. Applying chemistry to society*. McGraw-Hill: Boston. 2000.
- Stinner, A., The teaching of Physics and the context of inquiry: from Aristotle to Einstein, *Science Education*, **73**, 591-605, 1989.
- Sutton, C., Writing and reading in science: the hidden messages. En Millar, R. (Ed.) *Doing science. Images of science in science education*, pp. 137-159. The Falmer Press: Londres. 1989.
- Traver, M., *La història de les ciències en l'ensenyament de la física i la química*. Universidad de Valencia. 1996.
- Watson, J., *La doble hélice*. Salvat: Barcelona. 1994.
- Yager, R.E., *Science/Technology/Society as a reform in science education*. State University of New York Press: Nueva York. 1996.
- Ziman, J., *Teaching and learning about science and society*. Cambridge University Press: Cambridge. 1980.