

# La educación química frente a los retos del tercer milenio

Mercè Izquierdo\*

## Abstract

The challenges that arise with the third millennium are a lot, but if we want that teaching becomes part of the educative process 'for all', the foundation will be that teaching programs and processes trigger an authentic scientific activity, to make sure that learning is meaningful.

This challenge will only be successfully attained if chemistry teaching matches students' interests and ways of living. It is necessary a collective effort of teachers through this road that gets away of traditional disciplinary programs and requires imagination and professionalism.

## 1. Introducción

El tercer milenio plantea retos que son ya planetarios. Son, además, muy nuevos en su planteamiento porque *estamos en la era de la fluidez y del hibridismo, en la cual los territorios científicos son interdisciplinarios, los valores cambian y conviven diversos factores que, si se relacionan, no lo hacen de manera lineal sino cibernética*.<sup>1</sup>

Hemos de tener en cuenta este panorama general aunque estemos situados en el ámbito concreto de la enseñanza de la química, porque éste es el ambiente en el que viven nuestros estudiantes y para esta sociedad les preparamos. Es importante preguntarnos cómo vemos el futuro y qué función tiene la ciencia en este futuro que imaginamos porque la educación química es, ante todo, educación, y la educación siempre es una apuesta para el futuro.

Muchos profesores comparten una cierta preocupación sobre la presencia de la química en la formación básica de las personas e incluso por el futuro de los estudios universitarios de química. Constatan una *creciente ignorancia sobre la química* y un déficit de *opinión pública* sobre las ciencias, que contrasta con las posibilidades que ofrece la sociedad de la información. Es más, muchas personas consideran hoy día que no se ha de enseñar química, que es demasiado difícil y sofisticada. Se ha hecho (¡la hemos hecho!) tan complicada que está desapareciendo

de los currículos de 'ciencia para todos' que la consumen como 'caja negra', presentando las fórmulas como explicación dogmática de lo que pasa. (Gil y Viches, 2001; de Pro y Saura, 2001).

Por ello considero que el reto que nos plantea el tercer milenio es conseguir que la educación química sea racional y razonable (Izquierdo y Aliberas, 2004) para que genere opinión y, con ello, pueda contribuir al desarrollo humano de todas las personas (desde la primaria a la universidad), que será para bien o para mal, porque esto ya no depende de la química sino de los valores que, a la vez, sepamos inculcar a los alumnos.

La química que se enseña no es racional cuando se examina a los alumnos mediante un test de docenas de preguntas que requieren haber aprendido de memoria a resolver ejercicios de rutina; o cuando los alumnos hacen prácticas de laboratorio correspondientes a la 'química del mol' cuando en clase sólo les hablan de mecánica cuántica; o cuando les hablan de mecánica cuántica y no se enfrentan a ningún problema real que deban resolver utilizándola; o al transmitir de manera implícita la idea de que pueden manipular átomos como si fueran piezas de Lego cuando la verdad es que nunca van a poder hacerlo (¡ni tan sólo si llegan a ser nanotecnólogos!) (Izquierdo, 2005).

No es razonable cuando los problemas que se presentan a los estudiantes son poco problemáticos y se les enseña a resolverlos mediante una rutina que pocos comprenden bien aunque intentan recordarla. Hacer que la química (universitaria o no universitaria) sea racional requiere modificar la programación para que sus contenidos teóricos y prácticos aparezcan entrelazados de manera conveniente. Hacerla razonable requiere evaluar a los estudiantes a partir de preguntas y problemas auténticos en los que muestren sus competencias de pensamiento científico.

Para superar el reto va a ser necesario un punto de partida compartido por los profesores, configurado por algunos acuerdos sobre el 'conocimiento científico que se ha de enseñar como parte de la cultura general', y que son los siguientes:

- Ha de tener una dimensión histórica y humanista, porque se ha desarrollado a partir de una actividad humana creativa y con visión de futuro, y ha de contribuir a que, de la misma manera, los

\* Departament de Didàctica de les Ciències. Universidad Autònoma de Barcelona.

<sup>1</sup> En palabras del ingeniero y filósofo Salvador Paniker, en *El País*, 2005.

alumnos puedan pensar en su futuro con creatividad y con optimismo.

La educación se orienta hacia el futuro de nuestros alumnos y requiere creer en él; para ello han de saber que hemos llegado donde estamos ‘a hombros de gigantes’, como resultado de una ‘historia’ que ha sido científica y humana a la vez.

El desarrollo personal de nuestros estudiantes pasa por su capacidad de analizar y evaluar sus propias ideas y desarrollar valores de acuerdo a un sistema de creencias que debería tener como referencia la carta de Derechos Humanos y algún tipo de utopía que sostenga la necesidad de intervención responsable en el mundo que es también propia de las ciencias. La educación debería orientarse hacia el desarrollo de ‘competencias’: hacia *aprender a ser*, a *hacer*, a *conocer* y a *convivir*. y priorizar la acción y la reflexión frente a la repetición de contenidos libresco, que es innecesaria en la nueva Sociedad de la Información.

- Tiene una dimensión didáctica, porque necesita un centro de enseñanza y un profesor.

La tarea de profesor es una profesión específica, con una fundamentación teórica cada vez más estructurada e importante (la Didáctica de las Ciencias (DC) y/o la Science Education, área de conocimiento con un número creciente de revistas y de congresos) que puede diferenciarse de la de ‘científico investigador’, aunque es compatible con ella.

Las ciencias progresan tanto por la investigación como por la enseñanza. Pensemos en las grandes figuras como Lavoisier, Mendeleev o Pauling,<sup>2</sup> que fueron grandes innovadores de la química para poder enseñarla mejor y que se consideraron a ellos mismos ‘profesores (Maestros) de química’. Si bien ellos dedicaron los esfuerzos a la química universitaria, la única que entonces tenía alumnos, ahora se necesita un tarea de innovación similar para una nueva audiencia, formada tanto por los futuros

estudiantes de química como por aquellos que no van a serlo.

- Tiene una dimensión lingüística, porque la ciencia ha de poderse comunicar para poder enseñarse. Es necesario aceptar que hay muchas maneras de ‘hablar química’ si lo importante es hacernos comprender.

Lakoff (lingüista) y Johnson (filósofo) (1995) nos dicen que los conceptos abstractos son mayoritariamente metafóricos porque tienen que ver con nuestras vivencias y no tienen sentido al margen de ellas, por muy precisos que parezcan. Esto tiene consecuencias importantes para nosotros, profesores de química del siglo XXI, puesto que la química tiene un lenguaje específico que se considera vinculado a la precisión de los argumentos y explicaciones (Sutton, 1996).

En resumen: la historia (la tradición de ‘*hacer química*’), la comunicación y la tradición docente serán las coordenadas que van a confluir para diseñar una enseñanza de la química con finalidad educativa, que sea para todos y generadora de opinión y de criterio. Estas ideas se van a desarrollar en los apartados siguientes. En primer lugar, se van a identificar las principales dificultades para que la química sea racional y razonable. A continuación se va a considerar la competencia del profesor para configurar los contenidos de la química que enseña y de una ‘teoría de la clase’ que le sirva de referencia. Y, finalmente, se va a presentar una propuesta de ‘química paso a paso’ a la que me gustaría invitar a participar a los lectores de este artículo.

### ¿Por qué es difícil razonar en química?

#### ¿La culpa la tienen las fórmulas?

Las fórmulas no son el lenguaje adecuado para una iniciación a la química y tampoco lo son los temas que en estos momentos constituyen los programas de química, muy parecidos en todo el mundo e igualmente difíciles para la mayoría de alumnos. Una exploración rápida de los libros de texto muestra que aún los temas son los de siempre: la diferencia entre el cambio físico y el cambio químico, definiciones (sustancia y elemento, átomo, molécula) estequiometría, estructura atómica, tabla periódica (en los cursos más avanzados, propiedades de los grupos y períodos), ácidos y bases, redox, equilibrio químico, termodinámica y cinética, química orgánica, industria química (algunas veces). En los últimos años se han ido introduciendo cambios en los libros de

<sup>2</sup> Vale la pena recordar una anécdota que rememora Linus Pauling en una entrevista que se le hizo en 1984. Nos dice que, cuando tenía 13 años, un amigo (Lloyd Jeffress) le invitó a realizar experimentos de química, que le entusiasmaron. Unos años más tarde, en presencia de este mismo amigo, su abuela le preguntó qué quería ser de mayor y él le contestó que sería ingeniero químico (la única profesión que él conocía por aquel entonces en la cual se hacía química); pero su amigo dijo inmediatamente: no, él será profesor.

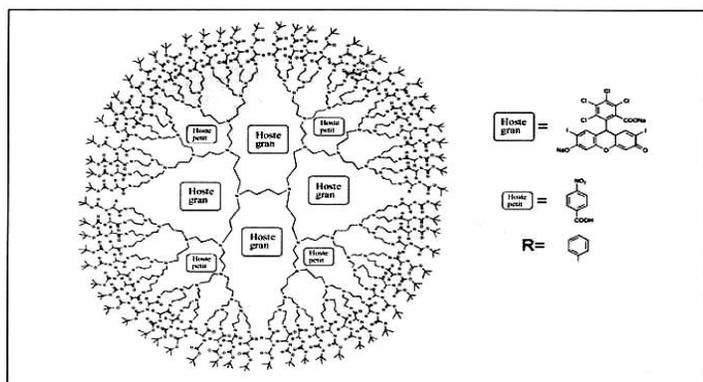


FIGURA 10. Caixa dendrítica.

Figura 1. ¿Qué explica una fórmula?

texto (como veremos más adelante): más ilustraciones, más lecturas y anécdotas, algo de historia, pero éstos han afectado más la forma que el fondo y la química que se enseña continúa siendo demasiado abstracta y generando frustración en profesores y alumnos. La causa de estas dificultades ha sido puesta en evidencia desde ámbitos diferentes y puede resumirse diciendo que se abusa de las fórmulas, que lo hacen todo fácil, pero al elevado precio de desconectar de la realidad.

Una breve mirada a la química en la segunda mitad del siglo XIX, cuando se enfrentaba a la enorme dificultad de representar las sustancias mediante fórmulas y las reacciones mediante ecuaciones químicas, nos permitirá reflexionar muy brevemente sobre las dificultades de introducir la química a los estudiantes mediante fórmulas.

#### *Fórmulas... pero ante todo, intuición química*

La química se presenta mediante fórmulas tanto en los libros como en las clases y aparentemente éstas explican los fenómenos químicos: los alcoholes lo son por el grupo OH, los cloruros tienen un Cl<sup>-</sup>, los sulfatos un SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>...; 'química' y 'fórmulas' acaban siendo lo mismo, hasta el punto que aún ahora se recomienda empezar el aprendizaje de la química por la formulación. Pero esto es un gran error: no se puede saber lo que significan las fórmulas si antes no se posee experiencia química; las fórmulas son intraducibles puesto que no se refieren a nada que no sea esta química que se ha de aprender con ellas. Por ejemplo las maravillosas fórmulas de la figura 1 (Seco *et al.*, 2004) intentan mostrar que una determinada fórmula corresponde a un dendrímero y puede funcionar como aceptor de una molécula huésped. Todo ello puede comprenderse viendo la fórmula, pero

¿conecta con algo que se pueda hacer con ella, que no sea otra fórmula, si no se sabe química? ¿Podemos imaginar cómo es la sustancia a la cual corresponde?

H. Kolbe (1818- 1884), a pesar de ser un defensor del atomismo químico, luchó en contra de la simplificación que significaron las fórmulas con 'átomos de carbono concatenados' que estaban proponiendo los químicos más jóvenes, como Kekulé y Van't Hoff, porque su engañosa facilidad 'alejaba de la realidad del laboratorio y convertía a la química orgánica en un simple problema aritmético'. Para él las sustancias químicas eran entidades experimentales que mostraban sus propiedades al reaccionar y no por deducción a partir de una estructura dibujada sobre el papel. ¡Y tenía una cierta razón!

Lo que hizo tan poderosa la teoría estructural fue que podía axiomatizarse: en su forma más simple se puede reducir a series de reglas algorítmicas o combinatorias, a partir de las cuales pueden deducirse estructuras moleculares que se pueden manipular a partir de asignaciones de valencia, dejando de lado la intuición química. Aunque fue una auténtica proeza intelectual llegar a 'escribir química' mediante fórmulas y ecuaciones químicas (Izquierdo y Adúriz, 2005), con ello no se solucionó el problema de enseñar química: es difícil (antes y ahora) pasar de la 'química sobre el papel' con sus reglas y sus instrucciones para formular y escribir ecuaciones, a una 'actividad química' con sentido cuyos resultados se puedan comunicar de manera razonada.

Así, si bien la manipulación de fórmulas puede enseñarse como una simple cuestión de aritmética bastante sencilla, con esto no se enseña química. El problema es cómo generar experiencia química y esto es difícil, porque los términos químicos y las fórmulas sólo tienen sentido si corresponden a una intervención en un fenómeno químico sobre la cual se piensa de manera teórica. Aprender química debería ser aprender el arte que tanto Kekulé como Kolbe dominaban (aunque lo escribieran de manera diferente), que requiere ver más allá de lo que muestran los sentidos, porque se han de inferir detalles estructurales a partir de los observables macroscópicos que se refieren a las 'reglas' del cambio químico.

#### *Hacia nuevos diseños de la química que se enseña*

Podemos acercar la química en el papel a la química que se hace en el laboratorio con un muy buen diseño didáctico, que incluye una selección adecuada de los temas. La química se ha comparado, con razón, a la cocina; de la misma manera que alguien

que jamás hubiera pisado una cocina ni hubiera comido nada de lo que allí se guisa le costaría imaginar lo que es una sopa, un sofrito o una tortilla, sin haber pisado un laboratorio es difícil comprender lo que es un precipitado, una disolución tampón o un destilado, darse cuenta de cuando una reacción ha finalizado o poder prevenir un efecto indeseado en un proceso químico. Sin este aspecto práctico, los conceptos químicos no llegan a serlo, son sólo palabras de significado dudoso y los alumnos no pueden razonar de manera autónoma con ellos (Wittgenstein y Vigotsky nos han ayudado mucho a comprenderlo).

Como ejemplo de estas afirmaciones y anticipación de lo que se dirá en los apartados siguientes, vamos a considerar los índices de dos manuales recientes para la química: 'Cutting edge chemistry', publicado bajo los auspicios de la Royal Society of Chemistry y dirigido a estudiantes de química de 16 años que van a dedicarse a las ciencias, y 'Chemistry in Context', publicado según la orientación de la American Chemical Society para 'no químicos'. Son dos libros excelentes, que rompen con la uniformidad tradicional de los libros de texto de química. Uno y otro muestran hacia dónde se orientan las innovaciones en la enseñanza de la química, aunque lo hacen en sentido contrario; así, entre los dos, muestran los límites entre los cuales deberá situarse la enseñanza racional y razonable de la química en el futuro.

El primero de ellos, 'Cutting edge chemistry', muestra un panorama de la química moderna a los alumnos que ya van a entrar en la universidad y revela un cambio de orientación evidente respecto a los programas tradicionales de química. El mensaje es muy claro: la química trata de moléculas y de sus interacciones y es capaz de diseñarlas para obtener unas propiedades determinadas en los materiales formados por ellas. Los temas son los siguientes:

- Make me a molecule (el primer capítulo, dedicado a las reglas para formular, puesto que todo van a ser fórmulas).
- Analysis and structure of molecules.
- Chemistry marriage brokers.
- Following chemical reactions.
- New science from new materials.
- The world of liquid crystals.
- The age of plastics.
- Electrochemistry.
- Computational chemistry and the virtual laboratory.
- The chemistry of life.

La química que se muestra en este libro ya no es la química de los matraces y de los balances de masa, sino que es una química de nuevos instrumentos, con un lenguaje tan potente y consolidado que habla por sí solo y que permite nuevas aplicaciones para obtener nuevos materiales y en los procesos de la vida, que se presenta como si realmente el químico manipulara moléculas y viera las interacciones entre ellas. Sin embargo, estas informaciones pueden producir una gran desorientación porque tanto los átomos como las moléculas se presentan como si fueran 'experimentales', como lo son las piedras o los árboles, cuando son muy diferentes: son 'cuánticos'. ¿Cómo debería ser la actividad química desde este enfoque? Ya no te drá nada en común con los matraces y buretas del laboratorio químico sino que requerirá instrumentos mucho más sofisticados, cuyo funcionamiento debería comprenderse muy bien; pero los estudiantes, incluso en la universidad, hacen aún prácticas tradicionales, las del 'mol' que no requieren de mecánica cuántica (Izquierdo, 2005), porque aún son necesarias para la 'chemical chemistry' que está en la base de la otra.

Los capítulos de 'Chemistry in Context' comunican una idea muy diferente y explican una historia más dispersa. Hablan de diferentes aspectos del mundo que plantean algún problema social o económico y se utiliza la química para analizarlo y resolverlo. La actividad química es, en este caso, mucho más diversificada pero siempre se supone eficaz y consigue resolver los problemas que se plantean. Pero continúa sin ser racional: se utilizan teorías que no han sido fundamentadas en evidencias experimentales que el lector conozca; la química lo resuelve todo pero no se da opción al lector a comprender bien cómo lo ha hecho, puesto que los problemas que se proponen no se pueden resolver sin saber la química que aún se está aprendiendo.

Los temas son los siguientes:

- El aire que respiramos.
- Protegiendo la capa de ozono.
- La química del calentamiento global.
- Energía, química y sociedad.
- La maravilla del agua.
- Neutralizando el impacto de la lluvia ácida.
- El lago Onondaga: un estudio de caso.
- La fisión nuclear.
- La energía solar: el petróleo del futuro.
- El mundo de los plásticos y de los polímeros.
- Diseñando medicamentos y manipulando moléculas.
- Nutrición: comida para pensar.

– La química de mañana.

La comparación de los índices de ambos libros ya indica que ambas propuestas son completamente diferentes, pero el análisis detallado del contenido de los capítulos lo confirma sin lugar a dudas. Las intuiciones que representan están claras: la primera de ellas culmina la sustitución del mundo real por el mundo de las moléculas y la intervención experimental del químico por la manipulación de grandes máquinas y muestra las líneas de investigación química actuales. La segunda prioriza temas que son de interés social para los cuales la química puede proporcionar una explicación convincente y perspectivas de intervención futuras y prometedoras. Sin embargo, aunque las dos muestran que se necesita otra enseñanza de la química, ninguna de ellas tiene el doble requisito de propiciar el pensamiento teórico a la vez que impulsa una actividad química genuina apropiada para iniciarse en la química y, por lo tanto, si bien ambas proporcionan interesantes puntos de partida, no son aún la nueva propuesta que vamos buscando.

En resumen: los programas de química y los libros de texto han de cambiar y están empezando a hacerlo. Hemos de ser los profesores quienes impulsamos este cambio que se orienta hacia la contextualización de los temas y la modelización de los fenómenos mediante un trabajo colectivo de diseño de buenas preguntas y problemas químicos que hagan pensar tal como piensan los químicos y permitan ir conociendo ejemplos interesantes de interacción entre materiales en los cuales los alumnos puedan intervenir (al menos en algunos de ellos). Si esta actividad química se distribuye a lo largo de los 10 años de escolaridad hay tiempo de haber pensado e intervenido en muchos ‘casos’ químicos, y la química universitaria, para quienes se interesaran por ella, podría ser mucho más interesante de lo que resulta ahora para muchos estudiantes, que abandonan o que simplemente ya no se matriculan.

### Una ‘teoría de la clase’ que proporcione autonomía frente a los contenidos

Los profesores universitarios de ciencias han de

<sup>3</sup> Deberíamos reivindicar este significado amable y rechazar el otro, tan antipático, que es sinónimo de ‘obligación’, de norma que se impone como una dura iniciación que ha de superarse para llegar a ‘hacer ciencia’.

ejercer como investigadores y como docentes porque ambas funciones son imprescindibles para desarrollar actividad científica y para que las disciplinas y la actividad científica se configuren y avancen, y han de tomar decisiones sobre qué enseñar, cómo y cuando enseñarlo, y qué y cómo evaluar para ejercer ambas funciones de manera coordinada. También los profesores no universitarios deberían tomar conciencia de la dimensión investigativa que tiene su tarea, que requiere una contrastación constante entre el diseño de su clase y sus resultados de aprendizaje, así como estar siempre estudiando y explorando nuevos ámbitos de conocimiento sin los cuales sus clases serían mera repetición, año tras año.

Cuando un profesor de química es consciente de las decisiones que toma frente a la materia que enseña y empieza a querer justificarlas, a compararlas con las de otros profesores, a priorizar alguna de ellas frente a otras según criterios docentes, a gestionarlas para llegar a los fines deseados, a valorar la participación de los alumnos en momentos cruciales del proceso... necesita nuevos conocimientos (de filosofía de la ciencia, de pedagogía, de ciencia cognitiva, de lingüística), que se trenzan con los de la materia científica que se enseña para, con ello, elaborar nuevos conocimientos sobre la enseñanza. Con ello, está contribuyendo a desarrollar la Didáctica de las Ciencias (DC), que es una ciencia para el diseño de una *Ciencia que se Aprende* que ha de ser a la vez teórica y práctica, y que han de gestionar conjuntamente, de manera interactiva, los profesores y sus alumnos.

### La DC es la ciencia de ‘ser profesor de ciencias’

Es bueno recordar que ‘Disciplina’ deriva de ‘discípulo’ porque, en ella, los conocimientos procedentes de la investigación se estructuran como actividades prototípicas y se escriben libros para poder ser enseñados y aprendidos<sup>3</sup> por la generación siguiente. Lo que ahora constituye una disciplina como la química es consecuencia de las decisiones de buenos docentes que supieron configurar propuestas adecuadas a lo que unos determinados alumnos necesitaban. Cuando los tiempos están cambiando, como ahora, han de cambiar también los contenidos disciplinares.

Chevallard (1991) se refiere a la clase como un ‘sistema didáctico’ en el cual interaccionan los alumnos, los profesores y los conocimientos y, por lo tanto, todos cambian, como se representa en la figura 2: los alumnos, porque aprenden, así como los profesores, y los conocimientos, porque ya no son exacta-

mente los de la disciplina tradicional, sin que esto signifique que son erróneos ni poco apropiados.

Habitualmente se piensa en los ‘contenidos’ como algo que ‘está ahí’ (en el libro de texto, quizás, o en los programas oficiales) y que no cambia, siendo los profesores unos mediadores entre ellos y los alumnos. Sin embargo, si aceptamos el enfoque sistémico para la clase que propone Chevallard, hemos de considerar que los contenidos intervienen en el juego y se configuran de la manera adecuada a la finalidad educativa que se persigue.

Klafki proporcionó ya en 1958 cinco preguntas para orientar al profesor en esta tarea de selección del contenido a enseñar, que continúan siendo actuales:<sup>4</sup>

I. ¿De qué profundo o general sentido de la realidad es ejemplo?

¿Qué fenómeno o principio fundamental, qué ley, criterio, problema, método, técnica o actitud se puede captar utilizándolo como ejemplo?

II. ¿Qué significado previo puede tener este significado para el alumnado de mi clase?

¿Qué significado puede tener desde un punto de vista pedagógico?

III. ¿Qué aporta para el futuro de mis alumnos?

IV. ¿Cómo se estructura pedagógicamente?

V. a. ¿Qué hechos, fenómenos, situaciones, experimentos, controversias, intuiciones... son apropiadas para inducir al alumnado a plantear preguntas dirigidas a la esencia y estructura del contenido en cuestión?

b. ¿Que imágenes, indicaciones, relato, situaciones, observaciones, experimentos, modelos... son apropiados para ayudar al alumnado a responder de la manera más autónoma posible sus preguntas dirigidas a los aspectos esenciales del tema?

c. ¿Qué situaciones y tareas son apropiadas para ayudar al alumnado a captar lo principal del tema mediante un ejemplo o un caso elemental, y para aplicarlo y practicarlo de manera que le resulte útil?

‘Enseñar química a la ciudadanía’ va a ser muy diferente de lo que ha sido en los últimos cien años enseñar física, química o biología a un público seleccionado para ir a la universidad; igualmente, enseñarla a los alumnos universita-

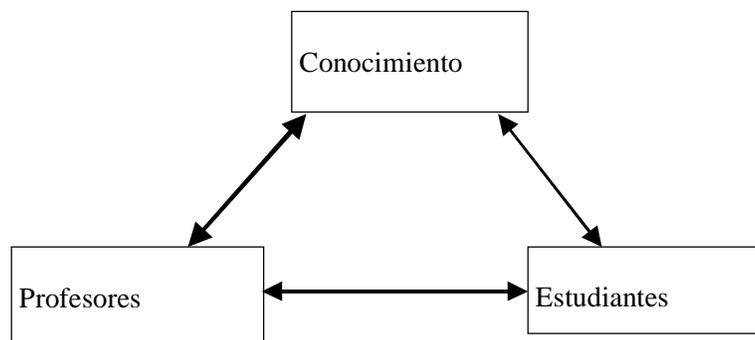


Figura 2. El sistema didáctico, cuyos elementos son los profesores, los estudiantes y los conocimientos, los cuales interaccionan y cambian.

rios que ya han nacido en la ‘sociedad de la información’ requiere cambios más drásticos que los que se han producido en los últimos cincuenta años. Lo central del cambio, en ambos casos, va a ser que lo que se enseñe se aprenda y se pueda aplicar; es decir, que se promueva en clase actividad científica que, como toda actividad humana, requiere pensar, hacer y comunicar de manera coherente y que está sustentada por valores que dan sentido a la vida (Bennet *et al.*, 2002; Justi *et al.*, 2002).

Es evidente que cuanto más alejados estén los alumnos de la comunidad química, tanto más deberán cambiar los contenidos para adecuarse a los nuevos perfiles y tanto más difícil va a ser este proceso de transposición didáctica y tanto más necesaria será la reflexión didáctica, que es irrelevante, en cambio, cuando se piensa que ‘el libro de texto’ corresponde a ‘lo que se ha de enseñar’, porque su ‘contenido’ es ‘la ciencia’, porque en ese caso ‘enseñar’ se limita a hacer comprensible el libro de texto.

Esto representa un cambio radical en la manera de concebir lo que se ha de enseñar y este reto se planteó en el libro *The content of science* (1994) en el cual se exponen los resultados de un seminario sobre este tema (ver White, 1994, por ejemplo). Según Fensham (2001, 2004) una de las principales líneas de la investigación actual en DC se refiere precisamente a los ‘contenidos’ y a la necesidad de una ‘teoría de los contenidos’ que oriente a los profesores cuando preparan su intervención docente.

#### *Una ‘teoría de los contenidos’ o el diseño de una ‘ciencia que se aprende’*

Si la finalidad es tan nueva y revolucionaria como la que ahora se nos está planteando (enseñar químico-

<sup>4</sup> Ver también Hopmann y Riquarts, 1995, Gundem, 2000.

**Tabla 1.** Las dimensiones de los contenidos (White, 1994) y las aportaciones actuales de la DC.

| Dimensiones de los contenidos   | Aportaciones actuales de la DC.   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Abstracción</b><br/>Han de ser demostrables, no arbitrarios<br/>(Dimensión epistemológica)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizar la actividad escolar a partir de los Modelos Teóricos o las Ideas Estructurantes.</li> </ul>                                       |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar un modelo de ciencia de realismo y racionalidad 'moderados'</li> </ul>  |
| <b>Obertura a la experiencia común</b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceptar la presencia de palabras comunes.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener en cuenta las ideas previas.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener en cuenta que los alumnos utilizan modelos alternativos con poder explicativo.</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dar prioridad a la comunicación mediante el lenguaje cotidiano antes de introducir los términos científicos.</li> </ul>                      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Han de poder emocionar.<br/>(Dimensión experiencial)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar argumentación científica en el aula para sustentar el proceso de modelización científica y procesos de metacognición.</li> </ul> |
| <b>Complejidad</b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren aceptación social.<br/>(Dimensión social)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajar en las tres dimensiones: hacer, pensar, comunicar.</li> </ul>   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar con los motivos que hacen que los estudiantes quieran aprender.</li> </ul>  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ha de conectar con una finalidad educativa que tenga consenso.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Han de poder conectar con los otros conocimientos que también se irán aprendiendo.</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se han de estructurar las ideas básicas e irreductibles para continua aprendiendo.</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Siempre son mezcla de diferentes conocimientos (Dimensión curricular, conectiva)</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener en cuenta las inteligencias múltiples y diseñar diferentes vías de acceso y de progresión.</li> </ul>                                  |

ca racional y razonable para todos) y tan diferente a la que dio origen a las disciplinas universitarias en las que nos hemos formado los profesores de ciencias, los contenidos de la ciencia escolar deberían ser igualmente nuevos y revolucionarios, y la función del profesor mucho más compleja que la de aproximar al estudiante unas disciplinas universitarias preestablecidas. Esto es lo que se ha intentado reflejar en diversas propuestas: de 'ciencia escolar' (Izquierdo *et al.*, 1999 a y b, referente a actividad científica escolar, ACE; Méheut *et al.*, 2004 y el resto de artículos en IJSE de abril de 2004 sobre secuencias de enseñanza y aprendizaje, Teaching-Learning Sequences, TLS).

White (1994) proporcionó ya algunas pistas para esta 'teoría de los contenidos de la clase de ciencias'. Se refería a las 'dimensiones de los contenidos escolares' y se relacionaron con aportaciones de la DC<sup>5</sup>.

En la tabla 1 se presentan agrupados de tal manera que nos permitan avanzar en la propuesta de química para todos que se va a presentar en el apartado siguiente (Gardner, 1996, 2000).

Esta tabla nos orienta para tener en cuenta los siguientes elementos del 'qué enseñar': la finalidad educativa, los núcleos temáticos, los procesos de desarrollo de los conocimientos, las relaciones entre los conocimientos diversos del currículo.

- La finalidad educativa, con consenso social y aceptación por parte de los estudiantes y concretada en objetivos condiciona toda la propuesta docente y ha de ser conocida y aceptada por los alumnos para que puedan participar en la actividad química escolar. Ha de vincularse explícitamente a valores humanos y no sólo a los epistémicos (democracia participativa, no sexismo, respeto a la diversidad, la intervención respetuosa con el medio); ha de ofrecer oportunidades a todos para razonar.

- Los programas deberán organizarse en núcleos temáticos de acuerdo con las vías de acceso a los conocimientos según sean las características del grupo-clase. En conjunto, han de desarrollar *conocimientos estructurantes* que dan sentido a conceptos como energía, equilibrio, estructura, cambio, que van a formar parte, con su propio sentido (se miden de manera diferente) en los otros Modelos Teóricos del currículo. Los temas que se escojan deberían ordenarse alrededor de los 'Modelos Teóricos' básicos e irreductibles, abstractos pero imprescindibles si se va a enseñar ciencia y no artesanía (Izquierdo, Solsona y Cabello, 1994). Estos modelos deberán vincularse a conjuntos de fenómenos que son relevantes para la formación de todas las personas.

- Se han de desarrollar procesos epistemológicos a partir de lo que se ha de saber hacer, lo que se ha de saber 'escribir', y lo que se puede representar mentalmente, decir, de los problemas que se llegarán a plantear y los que se pueden resolver. Con ello, se deberán proponer *estrategias de progresión*, que proporcionen ritmo al aprendizaje. Los fenómenos en los que trabaje se han de poder explicar aunque se habrán de seguir itinerarios o *procesos de justificación* personales para conseguirlo.

- Lo que se enseña ha de conectar y ser compatible

<sup>5</sup> Ver Izquierdo, conferencia inaugural del VI Congreso Internacional de Investigación en Enseñanza de las Ciencias.

con los otros conocimientos de los alumnos, proporcionando criterios para poder continuar aprendiendo, para seleccionar información relevante y rechazar la que no lo es.

Los dos primeros elementos se relacionan más con la 'racionalidad' y los dos últimos, con la razonabilidad. Vamos a verlo con más detalle en la propuesta que se propone como ejemplo.

### Una propuesta de 'química para todos'

Las diferentes ideas que hemos ido aportando nos ayudan a diseñar la enseñanza de la química a partir de situaciones que generen experiencia química, aunque el resultado ya no sea estrictamente la disciplina que se está enseñando ahora en todos los bachilleratos y universidades del mundo centrada en los conceptos y lenguajes de la disciplina académica actual.

La alternativa a los cursos de química que empiezan por las fórmulas y la estructura atómica, pero no generan criterio químico, es considerar problemas que surgen de la práctica de la química, introducir los conceptos específicos a medida que son necesarios y representarlos mediante una teoría atómica que se va desarrollando al mismo ritmo. Se puede avanzar paso a paso, a lo largo de los cursos de primaria y secundaria, y también en la universidad, para ir elaborando evidencias en relación a cambios químicos que son relevantes para la biología, la geología, la vida cotidiana, la industria, la historia, la filosofía, el arte, la física, la tecnología, la formación humana; es decir, para todas las actividades docentes en la escuela y en la universidad. Quizás en algún momento deberemos preguntarnos sobre cuáles son los límites para esta visión de conjunto pero creo que no es incompatible con un estudio serio de los temas propios de la química, aquéllos a los que no podemos renunciar pero que pueden estudiarse a partir de problemas más abiertos.

### Fijando un punto de partida

Las dificultades actuales de la enseñanza de la que hemos considerado en el primer apartado nos proporcionan un punto de partida para escoger correctamente los temas, que, recordemos, han de ser interesantes y adecuados para los alumnos y para la sociedad en la cual viven, y además:

- Han de referirse a temas que los alumnos conocen, pero, a la vez, han de poder conectar con los

principales conceptos químicos y con el Cambio Químico Modelo, como veremos enseguida, y contribuir a desarrollar una teoría atómica química. (Ver la aportación de Caamaño a estas Jornadas.)

- Han de referirse a fenómenos en los que los alumnos puedan intervenir con nuevos instrumentos para experimentar y obtener evidencias químicas específicas y nuevas.
- Han de ser suficientemente familiares como para poderse presentar con lenguajes cotidianos pero, a la vez, han de ofrecer la oportunidad de introducir los lenguajes teóricos propios de la química y, en su momento, las fórmulas.

Todo ello podría resumirse diciendo que los temas han de ser adecuados para desarrollar actividad mental, la cual, siguiendo a Guidoni (1985), consiste en hacer cooperar las tres dimensiones que parecen tener el sistema cognitivo humano y que no se pueden reducir una a la otra; son la que permite pensar (elaborar 'modelos del mundo'), la que permite experimentar (intervenir en el mundo) y la que permite comunicar (generar lenguajes para relacionar los modelos y las intervenciones). Esta cooperación se produce cuando se quiere alcanzar una *finalidad humana*, es decir, cuando algo en el mundo 'tira de nosotros' y se producen, como consecuencia, conocimientos con sentido.

Las ciencias (y, por descontado, la química) son ya el resultado de una 'actividad humana' con una *finalidad*, en la cual confluyeron el pensamiento, el lenguaje y la experimentación, y a partir de la cual surgieron preguntas y se promovieron respuestas. Sin embargo, estas mismas preguntas y estas respuestas no pueden ser las que se susciten en una clase de química para el ciudadano... aunque sí que han de promover una reflexión que conduzca a las principales ideas químicas actuales.

Mi propuesta es escoger los temas teniendo siempre presente su adecuación para introducir el Cambio Químico, y desarrollarlos a partir de identificar en ellos las características que los hacen similares a otros cambios químicos, guiándonos por un 'Modelo de Cambio químico' que resume las ideas básicas de la química, aquellas que configuran cualquier explicación química. Creo que aprender química es ser capaz de identificar 'cambios químicos' en el mundo que nos rodea, porque la química es una intuición sobre dónde hay cambios químicos, una pregunta sostenida sobre qué son estos cambios y un esfuerzo constante por controlarlos. Este

planteamiento incluye a la teoría atómica, a la que se debería dar un valor epistemológico diferente: los átomos no son la explicación del cambio químico, si no está antes la química y sus operaciones o formas de intervenir en el mundo. Los átomos constituyen un excelente recurso para sostener el pensamiento químico y deben introducirse a medida que un número creciente de cambios químicos en los que los alumnos puedan intervenir los hagan necesarios (Izquierdo y Adúriz, 2003; Greca y Moreira, 2001).

Todos los temas, tanto en primaria como en la universidad, deberían de enfocarse desde esta perspectiva: identificar a qué fenómenos químicos se refieren, cómo podemos relacionarlos con otros fenómenos que ya conocíamos y cómo podemos explicar esta relación lo mejor posible. Estos temas deberán ser del tipo C-T-S (Ciencia-Técnica-Sociedad), como iremos viendo, puesto que la química se pone al servicio de una comprensión global de los fenómenos que inciden en la vida humana, proporcionando, esto sí, una manera específica de mirarlos.

Pero antes de pasar a concretar estos temas es necesario una reflexión general sobre el conocimiento científico que queremos desarrollar, en el cual la teoría y la práctica están unidos de manera indisoluble.

#### *Una breve reflexión epistemológica: el Modelo Cambio Químico*

La actividad química escolar es, como la científica, una actividad de emergencia de conocimiento y requiere, igualmente, experimentación, elaboración de evidencias e introducción de nuevos lenguajes. La experimentación ha de ir acompañada de la argumentación para transformar los resultados en evidencias, ha de orientarse en este sentido puesto que por ella misma no 'muestra' nada a quienes aún no ha pensando nunca en interacciones entre materiales.

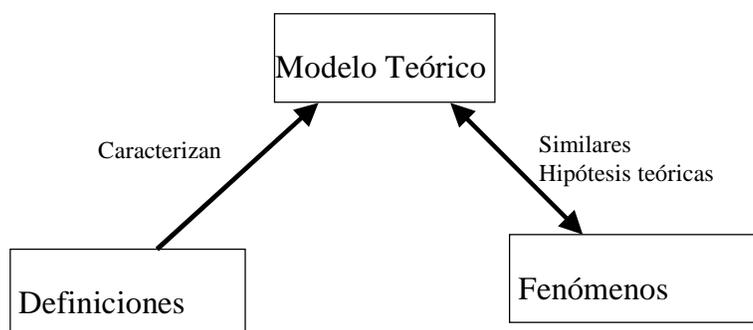


Figura 3. Un modelo teórico, según Giere.

Tal como dice Giere (1988), los científicos generan nuevos conocimientos contrastando determinados conjuntos de hechos del mundo con 'modelos' en los que se cumplen determinados patrones de conocimiento (parece ser que así pensamos todas las personas, sólo que los modelos en la vida cotidiana son diferentes a los científicos, que son más específicos y menos plurivalentes). Esta conexión de similitud entre modelos y hechos del mundo en los que se puede intervenir es lo que hace que la ciencia sea racional y también razonable para quien pueda argumentar esta conexión y justificarla con los lenguajes adecuados. Y, lo que me parece más importante, para Giere una Teoría científica es el Modelo junto con los fenómenos que se vinculan a él mediante Hipótesis teóricas (ver figura 3).

Giere contempla la ciencia como un proceso cognitivo y por esto su aportación nos resulta útil, porque la enseñanza se propone reproducir este proceso. Le interesa, por lo tanto, aproximarse a lo que hace la persona-científico no sólo cuando hace ciencia sino también cuando la comunica y cuando la enseña. Nos muestra cómo, en los libros, se presentan algunos 'hechos' que pueden ser explicados mediante leyes y que, de esta manera, aparecen idealizados y pueden servir de Modelos para otros cambios, a los que son similares. Los ejemplos que propone se refieren a la Física: el péndulo, por ejemplo, se nos muestra como un fenómeno que se puede identificar en la naturaleza pero, a la vez, se presenta idealizado al suponer que su comportamiento sigue una ley que se relaciona con las leyes de Newton a partir de simplificaciones que son sugeridas por el propio movimiento del péndulo.

El Modelo puede definirse mediante diferentes lenguajes, que pueden llegar a ser muy abstractos pero que no han de serlo necesariamente. Lo importante es que contribuya a relacionar de manera significativa un grupo de fenómenos que permiten un mismo tipo de intervenciones experimentales y se van a poder explicar de la misma manera. Por ejemplo, la interacción entre la sosa y el sulfamán puede llegar a explicarse de la misma manera que otros fenómenos químicos (ver figura 4).

Todos aquellos que comprenden bien el Modelo y el lenguaje con el cual se define forman una comunidad disciplinar que sabe cómo trabajar para saber si nuevos fenómenos forman parte del modelo o no y, con ello lo hacen más 'robusto' y/o lo desarrollan. Los Modelos de la Biología no son iguales a los Modelos de la Física o de la Química, por ejemplo,

porque tampoco lo son las preguntas, lo que se puede hacer a partir de ellos y los fenómenos que se consideran relevantes.

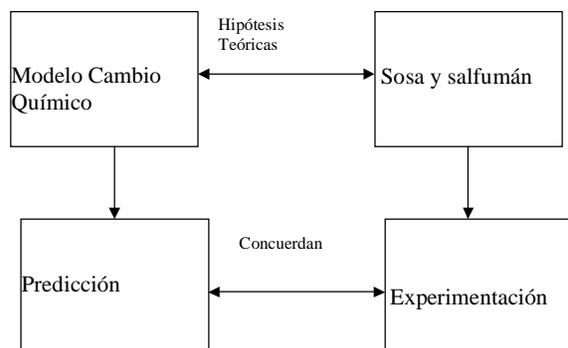
La química ha optado por la explicación atómica. Pero no hay puentes que ayuden a cruzar el abismo que existe entre los átomos y la realidad de los cambios químicos y los estudiantes confunden los átomos con los fenómenos. Algunos incluso disfrutan con ello porque comprenden el significado de las estructuras atómicas y moleculares, pero muchos otros no entienden de qué va la historia y se desinteresan de ella.

La propuesta que ya se ha insinuado antes consiste en programar secuencias de enseñanza / aprendizaje (Méheut, 2004) que se refieren a Interacciones entre Materiales y que tienen como guía el Modelo 'Cambio Químico', que va a funcionar como una matriz que configure las explicaciones químicas que se irán generando en clase. En cada una de estas secuencias se interviene en un determinado grupo de fenómenos mediante experimentos, lecturas, argumentaciones para introducir de manera significativa las entidades químicas que son necesarias para poder relacionar aquellos fenómenos con otros que también lo son.

El 'Modelo' puede definirse mediante lenguajes diferentes: no es necesario hacerlo con los lenguajes que utiliza actualmente la disciplina universitaria 'química', y por lo tanto puede haber una secuencia de definiciones que vaya mostrando, en las diferentes etapas educativas, cómo se conectan el pensar, el hacer y el hablar, y como se representa todo ello mediante 'átomos químicos'. En su caracterización más simple contiene afirmaciones como las siguientes, que orientan sobre lo que se ha de aprender a ver en los cambios para saber si son químicos o si no lo son:

- *Es 'interacción entre materiales' que están formados por átomos de elementos que son indestructibles, en la que unas sustancias desaparecen y aparecen sustancias nuevas.*
- *Las sustancias interaccionan en proporciones fijas.*
- *En esta interacción se conservan la masa (es decir, los átomos de los elementos) y la energía.*
- *Se puede controlar: se puede producir a más o menos velocidad.*
- *Se alcanza un estado de equilibrio químico en el que aparentemente ya no se producen cambios.*

Los ejemplos de referencia han de ser cambios relevantes y ya conocidos por los alumnos (ver más adelante) que proporcionan ocasiones para hacer



**Figura 4.** El método científico, según el Modelo Cognitivo de Ciencia de R. N. Giere (1988). Las ciencias avanzan a medida que nuevos hechos son contemplados desde la perspectiva de un modelo teórico según un proceso de modelización.

balances de masa, identificar sustancias invisibles, seguir la pista a los elementos, identificar y controlar interacciones, guardar memoria de lo que va pasando, obtener nuevos materiales. Estos fenómenos, una vez que han llegado a ser explicados en términos del modelo Cambio Químico, pasan a ser ellos mismos parte del propio Modelo y ayudan a que el estudiante pueda identificar otros cambios similares, es decir, a aplicar las principales ideas químicas.

Con este enfoque se propone generar experiencia química antes de decir lo que es el cambio químico e introducir las definiciones y las fórmulas cuando sea necesario. Los fenómenos químicos son muy complejos y sería imposible avanzar en su estudio sin la ayuda de la teoría atómica. Pero los átomos se han de ir construyendo como evidencia a medida que se van conociendo cambios químicos en los que se puede intervenir; es fundamental que los alumnos comprenden su carácter eminentemente cuantitativo: para la química, constituyen un 'paquete de materia elemental' que arrastra su masa a lo largo de todos los cambios en los que interviene.

#### *Hacer química 'paso a paso'*

La alternativa a los cursos de química que empiezan por las fórmulas y la estructura atómica, pero no generan criterio químico, es ir paso a paso, a lo largo de los cursos de primaria y secundaria, y también en la universidad, para ir elaborando evidencias en relación a cambios químicos concretos que son los que configuran el currículo (Izquierdo y Adúriz, 2002). Vamos a ver ahora cuáles serán los objetivos, los núcleos temáticos, las estrategias de progresión y los criterios para seleccionar nuevas informaciones en esta 'Química Paso a Paso'.

Los *objetivos* han de ser químicos, según valores

propios de la actividad científica (derivados de la posibilidad de conocer y de intervenir en el mundo de manera responsable) y han de conectar con un futuro posible y deseable, en el cual todos y cada uno de los alumnos tenga un lugar.

Parece razonable que los *núcleos temáticos* sean constituidos por conjuntos de fenómenos que los alumnos han de conocer (porque son ‘cultura’, porque son interesantes, porque les afectan directamente...) y que sean ejemplo de alguno de los aspectos del cambio químico como: aprender a identificar sustancias invisibles, comprender que los átomos son ‘masa constante’, que los símbolos permiten seguir la pista de los elementos a lo largo de los cambios, que las fórmulas representan relaciones entre átomos y unidades físicas que intervienen en las interacciones... (estequiometría), llevar la cuenta de la energía y saber aprovechar los cambios espontáneos (termodinámica), llevar la cuenta de los electrones (la naturaleza eléctrica de la materia), las interacciones posibles y las que no lo son, obtención de nuevos materiales (la clasificación periódica), las soluciones acuosas como reactivo químico y las características del agua (ácidos y bases, formación de precipitados), la gestión de la energía y el control de los cambios en los organismos (la velocidad de las reacciones, los catalizadores)...

Cada uno de estos núcleos temáticos constituye un ‘campo estructurante’ del Modelo CAMBIO QUÍMICO<sup>6</sup>. La conexión de todos ellos con el MODELO les proporciona la idea principal, es decir, que todos ellos son ‘cambios químicos’, de manera que, una vez interpretados, cada uno profundiza en alguna de sus principales características. Con ello se van generando conceptos y términos específicos y añaden nuevas características a los átomos.

Se han de diseñar *procesos epistemológicos* a partir de lo que se ha de saber hacer, lo que se ha de saber ‘escribir’, lo que se puede representar, es decir, de los problemas que se llegarán a plantear y los que se pueden resolver. Para facilitar la intervención de los estudiantes, los temas deberían presentarse de manera narrativa, que pueda tomar la forma de una ‘historia’ que sea, a la vez, explicativa y vivencial. Con ello se recalca que no se trata de comprender proposiciones o conceptos, sino relaciones complejas en las que intervienen ‘grandes ideas’ que proporcionan un marco que hace posible la comprensión. Una manera de presentar los temas sería la siguiente:

- Empezar por una *Narración* inicial que introduce el tema en el contexto adecuado y sugiere pre-

guntas y actividades que tienen que ver con ‘interacción entre materiales’.

- A partir de ella se identifican ‘*Episodios*’ que dan lugar a un estudio mejor delimitado y más profundo, que incluye la propia experiencia en el tema.
- En este marco se proponen y planifican experimentos según ‘las reglas de juego del hacer química’ y con sus instrumentos propios, con lo cual se construyen ‘*Hechos Paradigmáticos*’ que son aquellos que pueden explicarse mediante las entidades que se van introduciendo en el proceso de modelización y con los cuales se construyen evidencias. Este ‘hecho’<sup>6</sup> es ya un ejemplar que va a permitir interpretar otros fenómenos *similares* de manera analógica.

La racionalidad y la razonabilidad de la química escolar se apoya en la posibilidad de experimentar y de argumentar, es decir, de pensar, hacer y comunicar de manera coordinada, a partir de preguntas relevantes que los alumnos y los profesores formulan y también de las ‘palabras’ que reciben (sustancia, átomo, enlace, equilibrio) con las que finalmente han de dar sentido al resultado de su intervención en los fenómenos que han sido seleccionados. (Ver figura 5 e Izquierdo, 2005 b.)

En el esquema de la figura 6 vemos que serían necesarios seis tipos de actividad de modelización, argumentación y autoregulación (Rowell, 1998, Jorba, 1998; Jorba y Sanmartí, 1996). En conjunto, estas actividades darán contenido al discurso científico en el aula; aunque probablemente no se van a dar separadas en la ACE, pueden diferenciarse mediante el análisis didáctico de las propuestas docentes concretas.

Finalmente, los alumnos han de desarrollar ‘*criterio*’ que les permita identificar cambios químicos como interacciones fuertes entre materiales y disoluciones como interacciones débiles y, con más detalle, cuando un determinado concepto químico es aplicable y cuando no lo es, cuando un ejemplo es adecuado y cuando no lo es y seleccionar nuevas informaciones en libros y Webs que sean compatibles con lo que han aprendido y permitan continuar aprendiendo.

<sup>6</sup> ‘Hecho’ adquiere así un doble significado: algo que pasa en el mundo y algo que ha sido ‘hecho’ por el investigador, en el marco de su actividad científica.

### Algunos ejemplos

Muchos de los experimentos sencillos que se hacen ahora en las clases de química son adecuados para dar lugar a narraciones y proporcionar diversos 'episodios' apropiados para una actividad química autónoma de los estudiantes que sea evaluable y con la cual muestren sus competencias. Por ejemplo: carbonizar serrín o azúcar, quemar lana de hierro y comprobar el aumento de masa, obtener sal, reconocer sustancias a partir de sus interacciones, identificar interacciones en la cocina, quemar un cacahuate o comerlo, fabricar una pila con limón y dos metales, obtención de estaño mediante electrólisis.

La novedad es darles un lugar central y el tiempo necesario para que se asimilen completamente; es decir, aceptar que es el 'Hecho' lo que han de aprender, lo que les pasa a los materiales y no lo que les pasa a unos átomos más que invisibles: casi inimaginables. Si se han escogido y secuenciado de manera adecuada, estos ejemplos u otros semejantes pueden convertirse en 'paradigmáticos' de los diferentes 'campos estructurantes' del Modelo Cambio Químico.

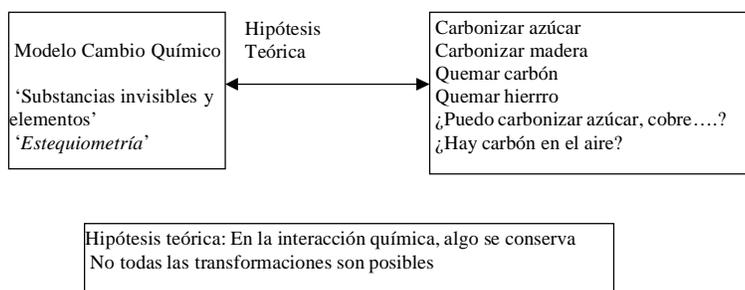
Ahora bien, debemos recordar que en las etapas de formación obligatoria se enseñan 'ciencias' y no 'química'; y que también la investigación química avanza en zonas limítrofes con otras disciplinas: biología, ciencias de la salud, física, ecología ... Esto nos hace ver que hemos de saber encontrar ejemplos químicos en fenómenos más amplios que: los fenómenos de la vida, de la meteorología, en el paisaje, en la industria, en la historia... proporcionan muchas ocasiones para identificar, en ellos, cambios químicos.

Debido a las inquietudes que he expuesto hasta aquí, mi programa de química general y mis clases actuales en la UAB en Magisterio intentan incorporar este nuevo enfoque sin apartarme mucho de la química académica preceptiva. Los temas se presentan, tal como se ha ido diciendo, según un proceso de modelización, y son los siguientes:

1. ¿Podemos transformar el azúcar en carbón?, ¿puede 'desaparecer' el carbón?  
*'Descomponer' no es 'quemar'.*  
*Para obtener materiales hemos de tener materiales: la materia no se crea ni se destruye.*  
*Se ha agujereado la mosquitera... pero pesa más.*  
*Sustancias invisibles, pero que pesan: los gases*  
*Átomos, elementos, moléculas y moles*

### 2. Agua y aguas

*¿Vale la pena guardar agua de lluvia para hacer jabón?*



**Figura 5.** Se interviene en un conjunto de 'hechos' que favorecen la abducción del Modelo, es decir, de tener en cuenta reglas que limitan las posibilidades de transformaciones de los materiales que interaccionan.

*El poder de una gota de agua*

*Interacciones 'gota a gota' para obtener sal*

*Vivir en l'agua, jugar en el agua*

*Casi somos agua...*

*Del agua al hidrógeno, del hidrógeno al agua: pasado y futuro de la química*

3. El poder de la electricidad para transformar los materiales

*Obtener plata a partir de las radiografías... hacer cristales de estaño*

*Inventemos los electrones y contémoslos... pero no van por libre, forman iones*

*Una primera aproximación a los enlaces químicos*

*Aprovechar las interacciones espontáneas: las pilas electroquímicas*

4. ¿Todo reacciona con todo?

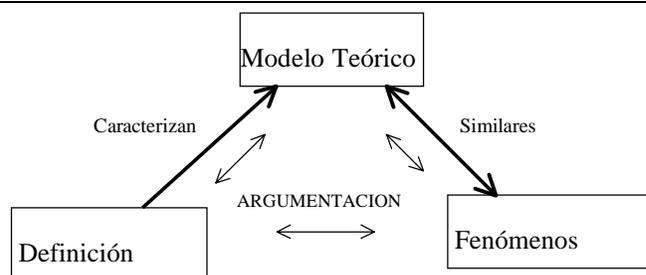
*La Tabla Periódica*

*Una breve excursión por la historia de la química: del oro al uranio*

*¿Sustancias simples o elementos? Los isótopos*

*Un 'sistema' de la química para ayudar a los químicos en su trabajo*

*Situar los elementos de los alimentos y los elementos del cuerpo humano*



**Figura 6.** En clase han de construirse las relaciones entre la ciencia escrita de los libros, los fenómenos y las características comunes del cambio químico, representadas, si es posible, por una teoría atómica química.

5. Los alimentos, la cocina y el mantenimiento de la vida

*Quemar un cacahuete, comerse un cacahuete  
Calentar, hervir, asar, cocer a la plancha, freír: interac-  
ciones y transformaciones de los alimentos*

*'Como el agua para el chocolate': alimentos que desvelan  
y hacer llorar*

*El itinerario de los alimentos cuando los comemos: la  
cooperación entre células para la gestión de la energía y  
de la materia*

*El itinerario de los elementos: transformaciones imposibles  
¿Aumenta la masa de un huevo mientras se forma el  
pollito? ¿Qué pasa en su interior?*

6. ¿Qué haríamos sin CO<sub>2</sub>? Los ciclos.

*El sol y la vida la fotosíntesis*

*Los ciclos de los elementos: son abiertos o cerrados*

*La sostenibilidad del ambiente*

*La regulación del CO<sub>2</sub> en la Tierra, en el cuerpo humano*

*Las estalagmitas i les estalagmitas*

*El nuevo átomo hecho de luz*

7. Los condicionantes económicos y sociales de la química

*Asegurar que 'siempre sale igual'*

*Asegurar que se gana dinero*

*Asegurar que se aprovechan los residuos*

*Asegurar que no es malgasta la energía*

*Un salto hacia el futuro: nuevos materiales, nano-  
tecnología,*

Estos contenidos son aún bastante tradicionales, pero el enfoque de las clases sorprende a los estudiantes y, al principio, les cuesta reconocer en ellos la química que estudiaron en el bachillerato; sin embargo, a lo largo del curso van entrando en el juego y finalmente disfrutan, incluso con los ejercicios de evaluación, que se presentan como pequeñas investigaciones.

Esta 'Química paso a paso' podría desarrollarse desde la primaria y la secundaria (para todos, centrada en temas CTS probablemente) hasta la universidad, centrada ya en aplicaciones directas de la profesión de químico. La peculiaridad de este programa es que no pretende introducir en los niveles básicos la disciplina que llamamos 'química', tal como la presentan los manuales actuales, sino que se propone desarrollar 'actividad química' en la escuela orientada en todo momento por el pensamiento teórico químico. Con ello se pretende tender un puente entre estas dos riberas, lo sintáctico de la química (el orden y claridad de las fórmulas) y lo semántico de la química (los fenómenos químicos y

las operaciones químicas) entre las cuales fluye esto tan complejo y huidizo a lo que llamamos 'cambio químico' y que, de esta manera, conseguimos modelizar.

### Conclusión

La química está avanzando en las fronteras con otras disciplinas y se puede considerar que es la ciencia más importante en estos momentos, sin la cual las otras no podrían avanzar. Pero, en cambio, la impresión general es que las personas no tienen una opinión adecuada de lo que es la química, ni de qué tipo de 'verdad' propone, ni de cómo se puede influir en ella, ni de qué sirve a los que no son químicos... Si es cierto que la enseñanza de las ciencias en todo el mundo está en crisis, cosa que se manifiesta en la disminución de alumnos en las facultades de ciencias y en la poca presencia de la química en los programas de educación básica, debemos tomarnos en serio los diversos cambios curriculares que se producen en todos los países y contribuir a que se consoliden con la finalidad de que los estudiantes sean, finalmente, competentes en 'hacer química'.

El reto es salvar el foso que hay entre las fórmulas y los fenómenos. Creo que no puede hacerse banalizando las representaciones y renunciando al pensamiento abstracto, teórico, pero tampoco imponiendo lenguajes incomprensibles.

Las crisis promueven cambios. Como profesores de química somos 'profesionales en el diseño de la disciplina para el discípulo' y deberíamos ser competentes para cambiar los programas de química actuales, si vemos que no funcionan. La química como disciplina científica se estructuró para formar a un químico profesional pero, como que ahora el discípulo es el ciudadano y no el futuro científico,<sup>7</sup> se ha de diseñar de otra manera. Las ciencias escolares y las ciencias universitarias ya no van a ser tan parecidas como hasta ahora, aunque deberán encontrarse en algún momento; y probablemente también va a ser necesaria más diversificación de programas y currículos en la universidad, porque también ha cambiado mucho la sociedad en la cual van a trabajar los futuros químicos.

Todo esto no va a conseguirse fácilmente. Es necesario un buen diseño didáctico y avanzar paso

<sup>7</sup> Incluso en la universidad, el alumno accede con una formación diferente y se le ha de formar para una actividad profesional y de investigación que también ha cambiado mucho.

a paso, de manera coordinada. Disponemos ya de muchas propuestas que apuntan a lo mismo, a la 'chemical chemistry' (a relacionar lo sintáctico y lo semántico, las fórmulas y su significado) y que ofrecen nuevas vía para conectar el conocimiento químico con los intereses diversos de los diferentes públicos a los que queremos dirigirnos.

Lo que queda claro es que una cosa es hacer química (antes, ahora, mañana) y otra es enseñarla a químicos, a científicos, a bachilleres no científicos, a todos... Las motivaciones, experiencias significativas, metáforas o representaciones disponibles, lenguajes... que deberemos proponer van a ser diferentes. La 'teoría de los contenidos' se perfila pues como la principal tarea colectiva de los profesores de química y requiere una fundamentación teórica didáctica que sería necesario consolidar

### Referencias bibliográficas

- Bennet, J., Holman, J. (2002). Context-based Approaches to the teaching of the Teaching of Chemistry: What are they and what are their effects?, en J. Gilbert *et al.* (ed.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 165-184. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chevallard, Y., 1991 (1977). *La transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique.
- Erduran, S., Duschl, R.A. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40, pp. 105-138.
- Fensham, P. (2001). Science content as problematic. Issues for research. En H. Behrendt *et al.* (eds). *Research in Science education: Past, present and future*, pp. 27 a 42. Dordrecht: Kluwer.
- Fensham, P. (2004). Focus on Content en *Defining an Identity*, pp. 145- 161. Dordrecht: Kluwer.
- Gardner, H, Kornhaber, M., Wake, W. (1996). *Intelligence, Multiple Perspectives*. Forworth, Tex.
- Gardner, H. (2000). *La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas*. Paidós: Madrid.
- Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133-140.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*. University of Chicago Press: Chicago.
- Gil, D., Vilches, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XX: Obstáculos y propuestas de actuación, en *Investigación en la Escuela*, 37, 15-32.
- Greca, I.M., Moreira, M.A. (2001). Mental, Physical and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. En *Learning models in Physics*, Kelly and Mayer eds., pp. 106-121. John Wiley & Sons.
- Gundem, B.B. (2000). Undersatnding European Didactics. En Moon *et al.* (eds.). *Pouledge International Companion to Education*, pp. 235- 262. London: Routledge.
- Hopmann, S., Riquarts, K. (1995) *Didaktik and/or Curriculum* Kiel: IPN.
- Izquierdo, M., Solsona, N., Cabello, M. (1994). Proyecto Ciencias 12-16 *Alambique* 1, pp. 61-74.
- Izquierdo, M., Sanmarti, N., Espinet, M. (1999a). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45-59. Barcelona: ICE de la UAB.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R.M. (1999b). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, pp. 79-92.
- Izquierdo, M., Aliberas, J. (2004). *Pensar, escriure y actuar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Cerdanyola: Servei Publicacions, UAB.
- Izquierdo, M. (2005). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *Journal of Argentinian Chemical Society*, 12.
- Izquierdo, M., Adúriz, A. (2001). Contributions of the cognitive model of science to didactics of science. *Proceedings, 6 th International HPS & ST Conference*, Denver
- Izquierdo, M., Adúriz, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science, *Science & Education* 12: 27-43.
- Izquierdo, M., Adúriz-Bravo, A. (2005). Dimensión práctica y axiológica de los conceptos científicos. En *Coneixement, llenguatge i discurs especialitzat*, Cabré, T y Bach, C. ed., pp. 325-345. Barcelona: IULA: Universidad Pompeu Fabra i Documenta Universitària (Sèrie Materials).
- Jorba, J.; Sanmarti, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas*. Madrid: MEC.
- Jorba, J. (1998). 'La comunicació i les habilitats cognitivolinguístiques'. En Jorba y otros, ed. *Parlar y escriure per aprendre*. ICE-UAB (traducido al castellano).
- Justi, R., Gilbert, J. (2002). Models and Modelling in Chemical Education, en J. Gilbert *et al.* (ed), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 47- 68.
- Klafki, W. (1958) *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung*. Basel: Wienheim.
- Lakoff, G., Jihson, M., 1995(1980). *Metáforas de la vida cotidiana*. Madrid: Cátedra.
- Millar, R., Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: Kings College, University of London.
- Méheut, M., 2004 Teaching - learning sequences: aims and tools for science education research, *Int. J. Sci. Educ.*, 26(5), 515- 535.
- Ohlsson, S. (1995). Learning to do and learning to understand. A lesson and a challenge for cognitive modelling. En P. Reimann (eds.). *Learning in humans and machines*. New York: Pergamon.
- Pro, de, A., Saura, O. (2001). Nuevos tiempos, nuevos contenidos, *Alambique*, 29, 63-69.
- Rowell, P.A., 1998. Learning in school science: The promises and practices of writing. *Studies in Science education*, 30, 19-56.
- Seco, M, Angurell, I. (2004). Els dendrímers o l'estètica molecular *Revista de la Societat Catalana de Química* pp.27-37, citando a Meijer *et al.*, (1994), *Science*, 226, pp. 1226.
- Sutton, C.R. (1996). Beliefs about science and beliefs about language. *Int. J. Sci. Educ.*, 18(1), pp. 1-18.
- Vygotsky, L.S., (1985). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: La Pléyade (1934).
- White, R. (1994). The dimensions of Content. En *The content of Science*.
- Wittgenstein, L., 1997. *Investigacions filosòfiques*. Barcelona: Edicions 62 (1953).