

Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible¹

Amparo Vilches y Daniel Gil Pérez*

ABSTRACT (The role of chemistry and Chemical Education in the construction of a sustainable future)

This paper intends to show the important role that chemistry and chemical education can and should play in the huge challenges faced by humanity today, attending to the United Nations call to educators of all levels and areas to contribute to citizens' awareness and understanding of the situation of planetary emergency, in order to enable them to participate in well-founded decision-making aiming to the construction of a sustainable future.

In doing so, we search also to contribute to improving education by breaking away from purely operative approaches that reinforce students' negative attitude towards chemistry and their rejection of studying this subject.

These objectives have been joined by the International Year of Chemistry (IYC), aimed at constituting a turning point in the social valuation of chemistry and the launch pad for Green Chemistry.

KEYWORDS: Chemical Education and Sustainability, green chemistry, students' attitudes towards Chemistry, science-technology-society-environment relationships

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and UNESCO strongly believe that it is time to celebrate the achievements of chemistry and its contributions to the well-being of humankind.

Introducción

En 2009, el Consejo Editorial de Educación Química decidió dedicar los números de la revista de 2011 al Año Internacional de la Química (IYC) que se celebra este año. La ceremonia de apertura del IYC tuvo lugar en París el 27 de enero de 2011 bajo el lema: "Chemistry – our life, our future".

Se trata, sin duda, de una importante celebración que fue instituida el 31 de diciembre de 2008 por la Asamblea General de Naciones Unidas para concienciar al público sobre "las contribuciones de esa ciencia al bienestar de la humanidad" (www.chemistry2011.org/). Un año que coincide con el centenario de la concesión del Premio Nobel a Marie Sklodowska Curie por sus aportaciones a la química y cuya celebración, según señalan sus promotores, ayudará a dar a conocer las contribuciones de las mujeres a la ciencia y a la química en particular.

En relación con la proclamación de 2011 como Año Internacional de la Química, en 2008, el entonces director general de UNESCO, Koïchiro Matsuura, señaló que "Sensibilizar al

público de la importancia de las ciencias químicas es una tarea de suma importancia, habida cuenta de los desafíos que debe afrontar el desarrollo sostenible. Es indudable que la química desempeñará un papel muy importante en el desarrollo de fuentes alternativas de energía y la alimentación de la creciente población mundial". UNESCO y la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) han sido las instituciones designadas para llevar a cabo la dirección y la coordinación de este evento. Según Jung-Il Jin, presidente de la IUPAC en esas fechas (www.iupac.org/), con esta celebración "Esperamos aumentar la apreciación pública y la comprensión de la química, aumentar el interés de los jóvenes por la ciencia y generar entusiasmo por un futuro de creatividad relacionada con la química" (portal.unesco.org/es/).

Es por todo ello que queremos felicitar a la revista por su decisión y agradecer la oportunidad que nos ha brindado de poder participar desde sus páginas en dicha celebración, reflexionando en torno a los retos a los que la química y su enseñanza se enfrentan en la actualidad. Y queremos hacerlo haciéndonos eco de las palabras a las que hacían alusión el ex director general de UNESCO y el Presidente de la IUPAC en sus declaraciones: La necesidad de contribuir a hacer comprender el relevante papel de la química en nuestras sociedades, lo que ayudará a aumentar el interés de los estudiantes hacia la misma, muy en particular por el desafío al que nos enfrentamos: la construcción de un futuro sostenible en el que química debe desempeñar un importante papel.

Ya en 2009, el número 4 de la revista *Educación Química* se centró en interesantes trabajos relativos a la Química Verde y pensamos que en este número especial, dedicado al Año Internacional de la Química, no pueden faltar contribuciones

* Universitat de València, España. Teléfono: 34 963616193.

Correos electrónicos: Amparo.Vilches@uv.es y daniel.gil@uv.es

¹ Este artículo ha sido concebido como contribución a la Década de la Educación para un futuro sostenible (<http://www.oei.es/decada/>) instituida por Naciones Unidas para el periodo 2005-2014.

en ese campo, es decir relativos al papel de la química sostenible (o, mejor, química para la sostenibilidad) en los grandes retos que la química y su enseñanza deben afrontar, lo que a su vez contribuirá a un mejor aprendizaje rompiendo con visiones deformadas que generan actitudes negativas en los estudiantes hacia la química y de rechazo hacia su estudio.

Pretendemos así responder a los numerosos llamamientos de instituciones mundiales para que la educación, toda la educación incluyendo, claro está, la educación química, preste atención a los problemas y desafíos que afectan a la humanidad, contribuyendo a la búsqueda de soluciones y a la formación de una ciudadanía responsable y preparada para la toma de decisiones (Vilches y Gil Pérez, 2008). Esto es lo que Naciones Unidas ha venido reclamando desde hace décadas a todos los docentes, de cualquier área o nivel, instituyendo, muy en particular, la Década de la Educación para un Futuro Sostenible para el periodo 2005-2014 (www.oei.es/decada). Un objetivo asumido también por los organizadores del IYC cuando señalan en referencia a las finalidades del IYC (www.chemistry2011.org/):

“Increase interest of young people in chemistry: In order to ensure that first-rate minds continue to be attracted to and challenged by the central science, IYC will underscore the role of chemistry in managing natural resources sustainably. In partnership with the United Nations, the International Year of Chemistry will make a strong educational contribution toward the goals of the UN Decade of Education for Sustainable Development, particularly in the key action areas of health and environment. National and international activities carried out during the International Year will emphasize the importance of chemistry in helping to sustain the natural resource base for life”.

Y queremos también referirnos a los llamamientos que la propia comunidad científica, de forma convergente, ha dirigido a sus miembros. Así, a finales de la década de los 90 del siglo XX, Jane Lubchenco, como presidenta de la más importante asociación científica, tanto por el número de miembros como por la cantidad de premios Nobel y científicos de alto nivel que forman parte de la misma, la *American Association for the Advancement of Science* (AAAS), reclamaba que el siglo XXI fuera, para la ciencia, para todas las ciencias, el siglo del medio ambiente y que la comunidad científica “reorientara su maquinaria” hacia la resolución de los problemas que amenazan el futuro de la humanidad (Lubchenco, 1998):

“As the magnitude of human impacts on the ecological systems of the planet becomes apparent, there is increased realization of the intimate connections between these systems and human health, the economy, social justice, and national security. The concept of what constitutes ‘the environment’ is changing rapidly. Urgent and unprecedented environmental and social changes challenge scientists to define a new social contract. This contract represents a

commitment on the part of all scientists to devote their energies and talents to the most pressing problems of the day, in proportion to their importance, in exchange for public funding. The new and unmet needs of society include more comprehensive information, understanding, and technologies for society to move toward a more sustainable biosphere one which is ecologically sound, economically feasible, and socially just.

Scientists today are privileged to be able to indulge their passions for science and simultaneously to provide something useful to society. With these privileges, of course, comes serious responsibility. The close of a century and a millennium provides an occasion for reflection on the nature of these responsibilities and an evaluation of the extent to which we are fulfilling them (p. 491). [...] All sciences are needed to meet the full range of challenges ahead. It is time for the scientific community to take responsibility for the contributions required to address the environmental and social problems before us, problems that, with the best intentions in the world, we have nonetheless helped to create. It is time for a reexamination of the agendas and definitions of the ‘grand problems’ in various scientific disciplines. We can no longer afford to have the environment be accorded marginal status on our agendas. The environment is not a marginal issue, it is the issue of the future, and the future is here now. On behalf of the Board of AAAS, I invite you to participate vigorously in exploring the relationship between science and society and in considering a new Social Contract for Science as we enter the Century of the Environment” (p. 496).

Y en 2007, un nuevo presidente de la AAAS, John Holdren, reiteraba la necesidad de acciones urgentes (www.aaas.org/news/releases/2007/0216am_holdren_address.shtml) “to build a sustainable future”. Estos llamamientos se apoyan en una gran cantidad de investigaciones realizadas a lo largo de muchas décadas, desde los trabajos pioneros de George Perkins Marsh (1807–1882) y otros, acerca del impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza (Bergandi y Galangau-Quérat, 2008) hasta los realizados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, www.ipcc.ch/). Éstos y otros muchos trabajos han contribuido a justificar que se hable de una situación de auténtica *emergencia planetaria* (Bybee, 1991), fruto de las acciones humanas, lo que ha llevado a la introducción del concepto de *Antropoceno*, como nuevo periodo geológico, en el que los cambios principales que experimenta el planeta tienen un origen antrópico: “El premio Nobel de Química Paul Crutzen ha apodado a nuestro tiempo como el Antropoceno, una era en que la Tierra está dominada por el ser humano” (Sachs, 2008, p. 101).

En este trabajo, como contribución a dichos llamamientos, queremos centrarnos precisamente en el papel que la química y la educación química pueden y deben jugar para salir al

paso de la situación de emergencia planetaria y contribuir a la sostenibilidad.

Pero antes pensamos conveniente plantear una cuestión previa, cuya respuesta intenta, precisamente, salir al paso de algunas reticencias e incomprensiones hacia el papel y la responsabilidad de la ciencia y, muy en particular, de la química frente a los problemas del planeta. Unas incomprensiones que es necesario superar para contribuir a aumentar el interés de los jóvenes hacia la química y su estudio. Algo que conecta con los objetivos del Año Internacional de la Química a los que antes hacíamos referencia: la necesidad de contrarrestar la imagen deformada que, a menudo, se transmite de la Química, por acción u omisión, a los estudiantes y a la sociedad.

Química... ¿para un mundo sostenible?

Si bien los objetivos de la Química Verde o Química Sostenible nos parecen esenciales a quienes formamos parte de esta comunidad científica (Garritz, 2009), pueden extrañar, sin embargo, a muchas personas ajenas a nuestro campo, que ven la química como un agente de contaminación y degradación ambiental. ¿Cómo se puede hablar de *Química para un mundo sostenible*? ¿No son los químicos, precisamente, los responsables de la síntesis de sustancias tan peligrosas para el medio ambiente y los seres vivos como los contaminantes orgánicos persistentes (COP) o “perturbadores endocrinos” llamados así por el aumento de graves enfermedades que provocan? ¿No es responsabilidad de la química la gran cantidad de vertidos de sustancias tóxicas, a la atmósfera, al agua, a los suelos...? ¿No son acaso los creadores de los compuestos clorofluorocarbonados que han estado a punto de destruir la capa de ozono, los responsables de la lluvia ácida, de las emisiones de dióxido de carbono que están provocando el cambio climático, etc., etc.? En definitiva, ¿no es la “sopa química” en la que vivimos inmersos la mayor causa de la degradación insostenible a la que estamos sometiendo a la biosfera y que amenaza con el colapso de nuestras sociedades (Diamond, 2006) e incluso con una sexta gran extinción que arrastraría a la especie humana (Lewin, 1997; Brosimmer, 2005)? ¿Cómo se puede hablar, entonces, de Química sostenible? ¿No se tratará de un oxímoron, es decir la unión absurda de dos términos opuestos, contradictorios?

Preguntas como éstas expresan el estereotipo que ve a la química como responsable de lo “artificial” y, por tanto, peligroso frente a lo “natural” y saludable. Un estereotipo simplista que es preciso cuestionar. Pero sobre todo es necesario salir al paso de la atribución del origen de los problemas actuales a los que se enfrenta la humanidad a la actividad de la química y, más en general, de la ciencia y la tecnología. Se trata de una simplificación maniquea en la que es muy fácil caer, porque hoy la ciencia y la tecnología y en particular la química lo impregnan todo. Es casi imposible, por ello, encontrar algo, *sea bueno o malo*, en lo que no estén jugando un papel. La lista de contribuciones de la tecnociencia, y en particular de la química, al bienestar humano sería al menos igualmente larga que la de sus efectos negativos. No podemos ignorar que

son científicos quienes estudian los problemas a que se enfrenta hoy la humanidad, advierten de los riesgos y ponen a punto soluciones (Sánchez Ron, 1994). Por supuesto, no sólo los científicos ni todos los científicos. Tampoco podemos ignorar que la fabricación de los freones tiene mucho que ver con la química y los químicos... pero se trata de una responsabilidad que implica también a empresarios, economistas, trabajadores, políticos... Las críticas y las peticiones de rectificación han de extenderse a todos, incluso a los “simples consumidores” de los productos nocivos. Todos hemos de reconocer nuestra parte de responsabilidad.

Sin embargo, hasta hace nada no conocíamos la gravedad de los problemas e incluso todavía hoy la mayor parte de ciudadanos y ciudadanas, incluyendo a científicos y docentes, nos comportamos como si no fuéramos conscientes de las consecuencias de nuestras acciones y ello a pesar de los numerosos llamamientos de las instituciones mundiales que vienen alertando desde hace décadas de la grave situación. Y nos referimos a comportamientos ancestrales, hábitos arraigados relacionados con la búsqueda de beneficios particulares, a corto plazo, que impulsan la extracción y uso de los recursos disponibles, sin preocuparnos por su posible agotamiento, ni por el vertido de los residuos producidos, dando por supuesto que el medio ambiente es ilimitado y será capaz de asimilarlos... hábitos que en un mundo finito como es nuestro planeta no pueden conducir más que a la destrucción de los recursos básicos y a la degradación del medio ambiente, entre otros muchos problemas.

Es por esto que debemos saludar convocatorias como las del Año Internacional de la Química que ayuden a reflexionar sobre los problemas, sus causas, las posibles medidas que se deben adoptar, lo que podemos y debemos hacer cada uno de nosotros, junto con otros, los obstáculos a los que nos enfrentamos y, en particular, el papel que puede jugar la química en las soluciones. De hecho, como antes nos referimos, existe una corriente emergente de química para la sostenibilidad, conocida como “Química Verde” y también como “Química Sostenible” que estudia, entre otras cosas, cómo *prevenir* y mitigar la contaminación (regenerando los espacios contaminados) y cómo contribuir a la eficiencia de los procesos. Corriente que ya cuenta con numerosas realizaciones, a las que después nos referiremos.

Pero para comprender de forma precisa el papel de la química en el avance hacia la sostenibilidad es necesario, en primer lugar, adquirir una visión global de cuáles son los problemas a los que nos enfrentamos; problemas que justifican, como veremos, que se hable hoy de una situación de emergencia planetaria. Una situación a la que hay que aproximarse de forma holística, global, porque los problemas están estrechamente vinculados, potenciándose mutuamente (por lo que si alguno es ignorado se impide el tratamiento efectivo del conjunto) y tienen una dimensión “glocal”, es decir, son a la vez *locales* y *globales* (Novo, 2006): no hay fronteras para los humos contaminantes, como no hay fronteras para la radiactividad y otras muchas formas de contaminación. Com-

prender esto es fundamental porque muestra el *carácter planetario* de la problemática y contribuye a salir al paso del obstáculo que supone estudiar los problemas aisladamente o sólo *localmente* y pensar en medidas exclusivamente locales para resolver problemas puntuales, ignorando sus vinculaciones (Vilches y Gil Pérez, 2009). Con esta perspectiva nos referiremos ahora a la problemática socioambiental en la que estamos inmersos.

¿A qué problemas se enfrenta hoy la humanidad?

La expresión *emergencia planetaria*, acuñada por el biólogo Richard Bybee (1991), pretende llamar la atención sobre la gravedad del conjunto de riesgos (Garritz, 2009) y serios problemas de alcance global y *estrechamente relacionados* a los que la humanidad ha de hacer hoy frente y que podemos resumir así (Vilches y Gil, 2003):

- Una contaminación pluriforme y *sin fronteras*... que provoca, por ejemplo, que el Ártico sea una de las zonas más contaminadas del planeta por las corrientes de aire y marinas que arrastran contaminantes generados a miles de kilómetros. Muchos de estos contaminantes se han incorporado a la cadena trófica y forman ya parte de los seres humanos aumentando sus concentraciones en sangre cada año, con graves consecuencias para la salud y el medioambiente. Podemos referirnos, en particular, a los denominados contaminantes emergentes o microcontaminantes que se encuentran en materiales de consumo masivo como cosméticos, fármacos, productos de limpieza... sobre los que por ahora no existe legislación sobre límites de concentración ni control alguno pero que, como se ha señalado, pueden ser bioacumulativos. Una contaminación, en definitiva, que envenena suelos, ríos y mares, con secuelas "glocales" (a la vez locales y globales) como la lluvia ácida, la destrucción de la capa de ozono o el incremento del efecto invernadero, que apunta a un peligroso *cambio climático global*; algo que ha dejado de ser una hipótesis de trabajo para convertirse en una preocupante realidad que amenaza con hacer inhabitable nuestro planeta (Lynas, 2004; Duarte, 2006; Pearce, 2007; Duarte Santos, 2007; Sachs, 2008; Vilches *et al.*, 2009; Worldwatch Institute, 2009).
- El agotamiento y destrucción (debida, en buena medida, a la contaminación) de todo tipo de recursos, desde los energéticos a los bancos de pesca, los bosques, las reservas de agua dulce... y el mismo suelo cultivable, dando lugar a una creciente desertización y pérdida de diversidad biológica (Worm, *et al.*, 2006; Duarte Santos, 2007; Bovet *et al.*, 2007; Vilches *et al.*, 2009). Un agotamiento de recursos que incrementa a su vez la contaminación (la pesca excesiva de sardinas, por ejemplo, que son grandes consumidoras de plancton, está provocando que éste se acumule y se descomponga en el fondo del mar, liberando grandes cantidades de metano y sulfuro de hidrógeno...).
- Una urbanización acelerada y desordenada que potencia, a su vez, los efectos de la contaminación (generada por el trans-

porte, calefacciones, etc.) y el agotamiento de recursos, con la destrucción de terrenos agrícolas, el aumento de los tiempos de desplazamiento y consecuente consumo de recursos energéticos (Girardet, 2001; Worldwatch Institute, 2007; Burdet y Sudjic, 2008; Hayden, 2008; Vilches *et al.*, 2009).

- La degradación generalizada de los ecosistemas (bosques, praderas, glaciares y casquetes polares, humedales, arrecifes de coral...), debido a la contaminación, al incremento del efecto invernadero —que está generando un cambio climático de consecuencias ya visibles—, a la explotación intensiva, a los incendios, a la urbanización incontrolada... (Worldwatch Institute, 1984-2011; Delibes y Delibes, 2005; Duarte Santos, 2007; Bovet *et al.*, 2008). Una degradación que va acompañada del aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos (sequías, huracanes, inundaciones, avalanchas de barro...), de pérdida de biodiversidad y creciente desertización y que afecta particularmente a los millones de seres humanos que son víctima de una pobreza extrema (Cortina y Pereira, 2009).
- A estos cambios del medio físico, relacionados con la apuesta por un crecimiento económico continuo en un planeta de recursos limitados, se añaden desequilibrios insostenibles entre una quinta parte de la humanidad que consume sin control y miles de millones de personas que sufren hambre y condiciones de vida insoportables mientras sigue creciendo la población mundial, más allá de la capacidad de carga del planeta, ante la falta de políticas educativas adecuadas para hacer posible una maternidad y paternidad responsables (Mayor Zaragoza, 2000; Sachs, 2005 y 2008; Sen y Kliksberg, 2007).
- Y estos desequilibrios se acompañan de conflictos de todo tipo (Diamond, 2006), desde guerras devastadoras, a menudo asociadas al afán de controlar materias primas, a actividades de las mafias y empresas transnacionales (que imponen sus intereses particulares escapando a todo control democrático), terrorismos, "limpiezas étnicas" y destrucción de la diversidad cultural (un patrimonio de la humanidad constantemente amenazado).

El resultado último de este proceso de degradación es una *desertización* que crece año a año, aceleradamente, sobre la superficie de la Tierra. Como afirmó Kofi Annan con motivo de la IV Conferencia de los Estados Parte de la Convención de la ONU contra la Desertización, nos encontramos frente a "uno de los procesos de degradación ambiental más alarmante del planeta", con pérdidas anuales de miles de millones de dólares, con riesgos para la estabilidad de las sociedades y con enormes tensiones en las zonas secas que aún no han sido degradadas, dado que millones de personas deberán emigrar a otras tierras donde poder sobrevivir.

Como nos muestra este conjunto de problemas, *estrechamente vinculados*, insistimos de nuevo, al que hemos pasado revista muy someramente, nos encontramos en una situación de auténtica emergencia planetaria. Es preciso preguntarse

ahora, pues, qué medidas se deben adoptar para hacer frente a la situación.

¿Qué medidas se pueden y deben adoptar?

El estudio de las medidas que se requieren adoptar para hacer frente a la situación de emergencia planetaria exige, obviamente, un cuidadoso análisis de los problemas y sus causas, pero si el propósito es lograr la atención e implicación de la ciudadanía, es preciso dejar claro, desde el principio, que es posible poner freno al proceso de degradación, que se conocen las medidas correctoras y que está en nuestras manos contribuir a su puesta en práctica. Estamos a tiempo todavía pero debemos hacerlo ya. Es necesario insistir en ello ya que otro de los obstáculos para que los ciudadanos y ciudadanas se sientan concernidos por la situación es la mayor incidencia que suele hacerse en la enumeración de los problemas para informarles y “sensibilizarles”, pero que acaba produciendo desánimo (Hicks y Holden, 1995). Como señalan Arjonilla y Garritz (2007), no se debe propiciar la inacción al almar en vez de alertar y debemos por tanto aclarar desde el principio que el estudio de los problemas está al servicio de la búsqueda de soluciones y que éstas existen y son posibles. En ese sentido debemos recordar que, por citar un ejemplo de la mayor relevancia, el IV Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC, 2007) está dedicado a las medidas de mitigación del problema y en él se afirma que “ya hay medios para hacer frente al cambio climático”. Y el mismo Diamond (2006) pese a hablar, fundamentadamente, de un posible colapso de las sociedades humanas, se autocalifica de “optimista cauto”, rechazando un pesimismo que conduce a no hacer nada y argumentando que la diferencia entre nuestras sociedades y aquellas que sufrieron un repentino e irreversible colapso en el pasado estriba en que nosotros sabemos cuáles son los riesgos y conocemos las medidas que se requieren adoptar.

Conviene dejar claro que el planteamiento global al que nos hemos referido para abordar el estudio de los problemas, dada su estrecha vinculación, debe estar presente también al analizar las posibles soluciones. Esto supone que debemos tener en cuenta un entramado de medidas que abarque el conjunto de dichos problemas y no caer en el error de pensar que es posible encontrar solución a cada problema “concreto”, sea éste la contaminación, el cambio climático, la falta de agua dulce o cualquier otro. Ninguna medida aislada bastaría para resolver ninguno de los problemas; todas ellas son necesarias y deben abordarse conjuntamente, respondiendo a un planteamiento global. Este planteamiento holístico es el que ha dado lugar a los conceptos estructurantes de sostenibilidad o sustentabilidad, considerado por Bybee (1991) como “la idea central unificadora más necesaria en este momento de la historia de la humanidad”, y de desarrollo sostenible o sustentable (Vilches y Gil, 2003; Novo, 2006 y 2009).

El concepto de sostenibilidad surge por vía negativa, como resultado de los análisis de la situación del mundo, que puede

describirse como insostenible, amenazando gravemente el futuro de la humanidad. *Un futuro amenazado* es, precisamente, el título del primer capítulo de *Nuestro futuro común*, el informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD, 1988) a la que debemos uno de los primeros intentos de introducir el concepto de sostenibilidad o sustentabilidad: “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. Un concepto, pues, central, estructurante, que se apoya en el estudio de los problemas, el análisis de sus causas y la adopción de medidas correctoras. Medidas que, como ya hemos dicho, deben contemplarse globalmente, cuestionando cualquier expectativa de encontrar soluciones, por ejemplo, puramente científico-tecnológicas a los riesgos y graves problemas a los que se enfrenta hoy la humanidad.

Nos asomaremos en este apartado a las posibles medidas señaladas por los expertos para hacer frente a la situación de emergencia planetaria; medidas que pueden agruparse en tecnocientíficas, educativas y políticas y que aparecen recogidas en una amplísima literatura. Aquí nos limitaremos a resumirlas brevemente, remitiendo a los Temas de Acción Clave, accesibles en la web dedicada a la Década de Naciones Unidas (www.oei.es/decada/), para su abordaje en profundidad.

Medidas científico-tecnológicas

Existe, por supuesto, un consenso general acerca de la necesidad de dirigir los esfuerzos de la investigación e innovación a dar prioridad a avances tecnocientíficos que favorezcan un desarrollo sostenible (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Daly, 1997; Flavin y Dunn, 1999; Sachs, 2008; Rifkin, 2010), orientado a la satisfacción de necesidades básicas y que contribuya a la reducción de las desigualdades. Avances como, entre otros:

- Desarrollo de energías limpias (solar, geotérmica, eólica, fotovoltaica, mini-hidráulica, mareas... sin olvidar que la energía más limpia es la que no se utiliza...) y *generación* distributiva o descentralizada, que evite la dependencia tecnológica que conlleva la construcción de las grandes plantas, dando paso a la Tercera Revolución Industrial (basada en el uso de las energías renovables, en las tecnologías de almacenamiento con base en el hidrógeno y en redes eléctricas inteligentes) que, como señala Rifkin (2010) “esperemos que llegue a tiempo para frenar el impacto que han dejado la era de los combustibles fósiles y las dos primeras revoluciones industriales”.
- Incremento de la eficiencia de los procesos para el ahorro energético (bombillas fluorescentes de bajo consumo o, mejor, diodos emisores de luz (LED), biocatálisis...), en un escenario “negavatios” que rompa el hasta aquí crecimiento imparable en el uso de energía.
- Gestión sostenible del agua y otros recursos esenciales.
- Desarrollo de tecnologías agrarias sostenibles (agriculturas biológicas).

- Prevención y tratamiento de enfermedades (muy en particular, las que azotan a los países en desarrollo).
- Reducción de desastres que, a menudo, constituyen auténticas “catástrofes anunciadas”.
- Logro de una paternidad y maternidad responsables, evitando los embarazos indeseados y el crecimiento de la población por encima de la capacidad de carga del planeta.
- Regeneración de entornos; prevención y reducción de la contaminación ambiental (con disminución y tratamiento de residuos para minimizar su impacto).
- Reducción del riesgo y empleo de materiales “limpios” y renovables en los procesos industriales, utilización de técnicas basadas en los principios de la Química sostenible.
- ...

Es preciso, sin embargo, analizar con cuidado las medidas tecnocientíficas propuestas y sus posibles riesgos (López Cerezo y Luján, 2000; Garritz, 2009), para que lo que puede aparentar una solución no genere problemas más graves que los que se trata de resolver, como ha sucedido ya tantas veces. Pensemos, por ejemplo, en la revolución agrícola que, tras la Segunda Guerra Mundial, incrementó notablemente la producción gracias a los fertilizantes y pesticidas químicos como el DDT. Se pudo así satisfacer las necesidades de alimentos de una población mundial que experimentaba un rápido crecimiento, pero sus efectos perniciosos (pérdida de biodiversidad, cáncer, malformaciones congénitas) fueron denunciados ya a finales de los 50 por Rachel Carson (1980). Y pese a que Carson fue inicialmente criticada como “contraria al progreso”, el DDT y otros “Contaminantes Orgánicos Persistentes” (COP) han debido ser finalmente prohibidos como venenos muy peligrosos, aunque, desgraciadamente, todavía no en todos los países. Un debate similar está teniendo lugar hoy en día en torno al uso de los transgénicos o de las nanotecnologías, portadoras éstas de muchas más esperanzas que todas las tecnologías hasta hoy conocidas, con extraordinarias aplicaciones informáticas, médicas, industriales, ambientales..., pero también de los mayores peligros ya que su tamaño les permite atravesar la piel, penetrar las células hasta su núcleo... (Bovet, 2008, pp. 58-59).

Por tanto, es necesario realizar un estudio detenido de las repercusiones que puede tener un proyecto tecnocientífico nuevo, para evitar aplicaciones apresuradas del mismo cuando aún no se ha investigado suficientemente sus posibles repercusiones. Ello constituye la base del *Principio de Precaución*. Un principio cuyo origen se sitúa en Alemania en los años 70, en relación con los daños originados por productos tóxicos cuyos efectos no resultaban visibles hasta después de transcurrido un largo tiempo. La Convención de Viena de 1985, sobre Protección de la Capa de Ozono, se señala como la primera implementación del Principio de Precaución en el Derecho Internacional. Posteriormente ha sido recogido en numerosas reuniones y acuerdos internacionales.

Se trata, pues, de superar la búsqueda de beneficios particulares a corto plazo que ha caracterizado, a menudo, el desarro-

llo tecnocientífico, y potenciar tecnologías básicas susceptibles de favorecer un desarrollo sostenible que tenga en cuenta, a la vez, la dimensión local y global de los problemas a los que nos enfrentamos (Vilches *et al.*, 2009). Y es necesario, como señala Sachs (2008, p. 56), formular un compromiso global para “financiar I + D para tecnologías sostenibles, entre ellas las energías limpias, las variedades de semillas resistentes a la sequía, la acuicultura sensata desde el punto de vista medioambiental, las vacunas para enfermedades tropicales, la mejora del seguimiento y la conservación de la biodiversidad (...) para todas las dimensiones del desarrollo sostenible hay una necesidad tecnológica esencial que debe ser apuntalada mediante inversiones en ciencia básica. Y en todos los casos hay una necesidad acuciante de financiación pública que incentive las nuevas tecnologías que nos permitan alcanzar al mismo tiempo los objetivos de elevar la renta global, poner fin a la pobreza extrema, estabilizar la población mundial y propiciar la sostenibilidad ambiental”. No es necesario insistir en el papel crucial que la Química puede jugar y está jugando en la mayoría de de estas tecnologías para la sostenibilidad.

Medidas educativas

En esencia se propone impulsar una *educación solidaria* que ayude a superar la tendencia (que hoy cabe calificar de suicida) a orientar el comportamiento en función de intereses particulares a corto plazo, o de la simple costumbre, que contribuya a una correcta percepción del estado del mundo, *genere actitudes y comportamientos responsables y prepare para la toma de decisiones fundamentadas* (Aikenhead, 1985) dirigidas al logro de un desarrollo culturalmente plural y físicamente sostenible (Delors, 1996; Cortina y Pereira, 2009; Aznar y Ull, 2009).

Se precisa una educación que ayude a:

- Contemplar los problemas ambientales y del desarrollo en su globalidad, teniendo en cuenta sus repercusiones a corto, medio y largo plazo, tanto para una colectividad dada como para el conjunto de la humanidad y nuestro planeta.
- Comprender que no es sostenible un éxito que exija el fracaso de otros.
- Transformar, en definitiva, la interdependencia planetaria y la mundialización en un proyecto plural, democrático y solidario (Delors, 1996), que oriente la actividad personal y colectiva en una perspectiva sostenible, que respete y potencie la riqueza que representa tanto la diversidad biológica como la cultural y favorezca su disfrute.

Es imprescindible incorporar la educación para la sostenibilidad como un objetivo clave en la formación de los futuros ciudadanos y ciudadanas y hacer comprender la necesidad de acciones que contribuyan a un futuro sostenible en los diferentes ámbitos: consumo responsable, actividad profesional y acción ciudadana. Es preciso modificar actitudes y comportamientos ayudando a poner en práctica lo mucho que cada cual puede hacer, junto a otros, en los distintos ámbitos:

- Consumo responsable presidido por las “3 R” (reducir, reutilizar y reciclar), que puede afectar desde la alimentación (reducir, por ejemplo, la ingesta de carne, cuya producción constituye una de las actividades que más contribuyen al incremento de los gases de efecto invernadero) al transporte (promover el uso de la bicicleta y del transporte público como formas de movilidad sostenible), pasando por la limpieza (evitar sustancias contaminantes), la calefacción e iluminación (sustituir las bombillas incandescentes por las de bajo consumo o las LED) o la planificación familiar, etc., etc. Particular importancia está adquiriendo la idea de compensar los efectos de aquellas acciones que contribuyan a la degradación y no podamos evitar, como, por ejemplo, determinados viajes en avión (Bovet *et al.*, 2008, pp. 22-23).
- Comercio justo, lo que significa comprar productos con garantía de que han sido obtenidos con procedimientos sostenibles, respetuosos con el medio y con las personas.
- Activismo ciudadano... lo que exige romper con el descrédito de “la política”, actitud que promueven quienes desean hacer su política sin intervención ni control de la ciudadanía.

Resulta esencial, sin duda, *comprender* la relevancia que tienen nuestras acciones, lo que hacemos o dejamos de hacer, y construir una visión global de las medidas en las que *podemos* implicarnos. Pero la acción educativa no puede limitarse al logro de dicha comprensión, dando por sentado que ello conducirá a cambios efectivos en los comportamientos: un obstáculo fundamental para lograr la implicación de los ciudadanos y ciudadanas en la construcción de un futuro sostenible es reducir las acciones educativas al estudio conceptual. Es necesario, por ello, *establecer compromisos de acción* en los centros educativos y de trabajo, en los barrios, en las propias viviendas... para *poner en práctica* algunas de las medidas y realizar el seguimiento de los resultados obtenidos. Estas acciones *debidamente evaluadas* se convierten en el mejor procedimiento para una comprensión profunda de los retos y en un impulso para nuevos compromisos (Mogensen *et al.*, 2007; Moreno y Pedrosa, 2008; Vilches y Gil Pérez, 2008; Vilches *et al.*, 2009; <http://www.oei.es/decada/hacer.php>).

Medidas políticas

Vivimos, como ya hemos señalado reiteradamente, una grave situación de emergencia planetaria que obliga a pensar en un complejo entramado de medidas, científico tecnológicas, educativas y políticas, cada una de las cuales tiene carácter de *conditio sine qua non*, sin que ninguna de ellas, por sí sola, pueda resultar efectiva, pero cuya ausencia puede anular el efecto de las que sí se apliquen: se ha comprendido, en efecto, que no basta con plantear tecnologías para la sostenibilidad o una educación para la sostenibilidad; son precisas igualmente medidas políticas que promuevan las auditorías ambientales, la protección de la diversidad biológica y cultural, la promoción de tecnologías sostenibles mediante políticas de I + D,

una fiscalidad verde que penalice los consumos y actuaciones contaminantes, etc.

Pero tampoco basta con medidas políticas locales o estatales; hemos de reconocer que no es posible abordar localmente problemas como una contaminación sin fronteras, el cambio climático, el agotamiento de recursos vitales, la pérdida de biodiversidad o la reducción de la pobreza y la marginación, que afectan a todo el planeta (Duarte, 2006); que se precisa urgentemente una integración planetaria capaz de impulsar y controlar las necesarias medidas “glocales”, en defensa del medio y de las personas, para reducir el impacto socio-ambiental de las actividades humanas antes de que el proceso de degradación sea irreversible (Vilches y Gil Pérez, 2003).

Los graves problemas a los que debemos hacer frente exigen, por tanto, instituciones, locales y globales, plenamente democráticas, que pongan freno a la degradación, tanto física como cultural, de la vida en nuestro planeta. Se precisa, entre otras cosas:

- legislación para la protección del medio, a nivel local y planetario;
- acuerdos vinculantes para la erradicación de la pobreza extrema;
- garantizar el respeto de la diversidad, biológica y cultural;
- la universalización de los Derechos humanos, como objetivo y requisito de un futuro sostenible;
- ...

Como señala Sachs (2008) “La cooperación global deberá pasar a un primer plano. La idea misma de que los estados-nación compitan por los mercados, la energía y los recursos, quedará anticuada (...) El reto definitorio del siglo XXI será afrontar la realidad de que la humanidad comparte un destino común en un planeta superpoblado”.

Se necesita, pues, incrementar la cooperación y el desarrollo, introduciendo cambios profundos en las relaciones internacionales que se vienen reclamando desde hace décadas, para superar los unilateralismos y que sean vinculantes para todos acuerdos como la contribución del 0.7% del PIB como ayuda al desarrollo, la condonación de la deuda externa (que se traduce en flujos dinerarios netos desde los países en desarrollo a los desarrollados), los procesos de desarme y convenios para la no proliferación de armas nucleares o la Convención sobre Municiones en “Racimo” de 2008, la Estrategia Mundial de Lucha contra el Terrorismo (Plan de Acción de 2006) o el funcionamiento de la Corte Penal Internacional. Muy en particular, queremos referirnos al Protocolo de Kyoto que obligaba a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Un protocolo cuyos objetivos no se lograron ampliar en la XV Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (COP 15) de Copenhague, en diciembre de 2009. A finales de 2010, en la COP 16 celebrada en Cancún (México), aunque no se alcanzaron compromisos vinculantes de reducción de GEI, se dieron ciertos avances: la recuperación de la negociación global del clima en la ONU (el multilateralismo) y

la creación de un Fondo Verde (Green Climate Found) para combatir los efectos del cambio climático: medidas para proteger las selvas tropicales, transferir tecnologías limpias y más recursos para los países en desarrollo. Es insuficiente pero, como se ha señalado, se trata de claros avances respecto a los decepcionantes resultados de Copenhague, que devuelven la esperanza de lograr un acuerdo justo y vinculante en Durban, Sudáfrica, en 2011. Algo por lo que la comunidad científica, los educadores y los movimientos ciudadanos habremos de renovar los esfuerzos.

Una vez más se pueden percibir las estrechas vinculaciones entre las posibles soluciones: combatir la pobreza favorecería la seguridad de todos, reduciendo los conflictos, que, a su vez, liberaría recursos para favorecer el desarrollo, para transferir a los países en desarrollo tecnologías que mejoren el medio ambiente, que incrementen la eficiencia energética, el tratamiento de enfermedades, etc., etc.

Pero la aplicación efectiva de este conjunto de medidas no es, en modo alguno, una tarea simple: se precisan cambios profundos que explican el uso de expresiones como “revolución energética”, “revolución del cambio climático”, etc. Mayor Zaragoza (2000) insiste en la necesidad de una profunda revolución cultural y la ONG Greenpeace ha acuñado la expresión *[r]evolución por la sostenibilidad*, uniendo los conceptos de revolución y evolución: revolución para señalar la necesidad de cambio profundo, radical, en nuestras formas de vida y organización social; evolución para puntualizar que no se puede esperar tal cambio como fruto de una acción concreta, más o menos acotada en el tiempo.

Dicha *[r]evolución* por un futuro sostenible exige de todos los actores sociales romper con:

- planteamientos puramente locales y a corto plazo, porque los problemas sólo tienen solución si se tiene en cuenta su dimensión global;
- la indiferencia hacia un ambiente considerado inmutable, insensible a nuestras “pequeñas” acciones; esto es algo que podía considerarse válido mientras los seres humanos éramos unos pocos millones, pero ha dejado de serlo con más de 6600 millones;
- la ignorancia de la propia responsabilidad: lo que cada cual hace, o deja de hacer, como consumidor, profesional y ciudadano tiene importancia;
- la búsqueda de soluciones que perjudiquen a otros: hoy ha dejado de ser posible labrar un futuro para “los nuestros” a costa de otros; los desequilibrios no son sostenibles.

Esta *[r]evolución* no es fácil, pero es necesaria y *es todavía posible...* si somos capaces de impulsar ya un movimiento universal de implicación ciudadana. Y ¿cómo puede contribuir la química —y la educación química— en concreto a resolver los problemas a los que nos enfrentamos? ¿Cómo pueden contribuir a esa *[r]evolución* por la sostenibilidad que precisamos? A ello dedicaremos los próximos apartados.

¿Qué papel puede y debe jugar la Química en la construcción de un mundo sostenible?

Hemos hecho referencia a los diferentes tipos de medidas interconectadas que se requieren para avanzar hacia la sostenibilidad y en particular a la necesidad de la implicación de la ciencia y la tecnología en la solución de los problemas a que nos enfrentamos, analizando qué desarrollos e investigaciones se deben promover. Nos asomaremos ahora a las aportaciones que ya se están desarrollando desde el campo de la química, así como a las enormes perspectivas que se abren en esta rama de la ciencia, que se deben impulsar para contribuir a la sostenibilidad.

Comenzaremos refiriéndonos a la importancia que están adquiriendo los estudios relativos a la Química Verde o Sostenible (Garritz, 2009), sin olvidar las aportaciones de sus antecedentes en la denominada Química Ambiental y los desarrollados en la Química Atmosférica. En esencia, todos ellos impulsan desarrollos en el campo de la química coherentes con las medidas científico-tecnológicas para la sostenibilidad a que nos referíamos en el apartado anterior. En particular, la Química Sostenible (Green Chemistry) supone un cambio fundamental en la forma en que la ciencia plantea el diseño químico y las síntesis de las sustancias: significa el diseño, desarrollo y aplicación de productos y procesos químicos para la reducción o eliminación del uso y generación de sustancias peligrosas para la salud humana y para el medio ambiente.

La Química Sostenible, de la que merece la pena destacar su carácter preventivo ya que pretende evitar los problemas antes de que ocurran, se basa en 12 principios, formulados originalmente a finales de los años 90 del pasado siglo por Paul Anastas y John Warner (1998) en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice*, que podemos resumir:

1. Es mejor prevenir la formación de residuos que tratar de limpiar tras su formación.
2. Los métodos sintéticos deben ser diseñados para conseguir la máxima incorporación en el producto final de todas las materias usadas en el proceso.
3. Se deben diseñar metodologías sintéticas para el uso y la generación de sustancias con escasa toxicidad humana y ambiental.
4. Se deben diseñar productos químicos que, preservando la eficacia de su función, presenten una toxicidad escasa.
5. Las sustancias auxiliares (disolventes, agentes de separación, etc.) deben resultar innecesarias en lo posible y, cuanto menos deben ser inocuas.
6. Las necesidades energéticas deben ser consideradas en relación a sus impactos ambientales y económicos y minimizadas. Los métodos sintéticos deben ser llevados a término a temperatura y presión ambiente.
7. Las materias de partida deben ser renovables y no extinguidas.
8. La formación innecesaria de derivados (bloqueo de grupos, protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos) debe ser evitada.

9. Se deben utilizar reactivos catalíticos (tan selectivos como sea posible).
10. Los productos químicos han de ser diseñados de manera que, al final de su función, no persistan en el ambiente, sino que se fragmenten en productos de degradación inertes.
11. Se deben desarrollar las metodologías analíticas que permitan el monitoreo a tiempo real durante el proceso y el control previo a la formación de sustancias peligrosas.
12. Las sustancias y las formas de su uso en un proceso químico deben ser elegidas de manera que resulte mínima la posibilidad de accidentes.

La importancia de este campo de la química se pone de manifiesto también por la gran cantidad de publicaciones así como encuentros, jornadas, congresos que sobre la Química Verde o Sostenible se vienen desarrollando: Jornadas Españolas de Química Sostenible, vinculadas a la Green Chemistry Conference; VI Congreso Internacional de Química de ANQUE, sobre química y desarrollo sostenible (Tenerife, 2006, www.quimicaysociedad.org/); Taller Latinoamericano de Química Verde (México, 2008, www.icq.uia.mx/webicq/eventos.htm); 8th Green Chemistry Conference (Zaragoza, 2009, sgcc.unizar.es/Committees.html); 7^o Congreso Internacional de ANQUE (Oviedo, 2010, www.unque2010.org/); en el marco del Año Internacional de la Química, en el campo de la industria química, las II Jornadas de 'Química Sostenible, Empresas Innovadoras y Competitivas' (Barcelona, 2011) etc., etc.

Mercede la pena asomarse, por ejemplo, a la web de la Red Española de Química Sostenible (Red QS) donde se pueden encontrar las líneas prioritarias de investigación de este campo de la química (desarrolladas en redqs.s43.eatj.com/redqs/index.jsp), así como la implicación de los diferentes institutos de investigación, vinculados a este campo, dependientes de las diferentes universidades y del CSIC, las numerosas publicaciones relacionadas con la química sostenible y aspectos no menos relevantes relativos a las patentes de transferencia tecnológica. A partir de los enlaces que se muestran en la RED QS, podemos acceder al contenido de otras redes de Química Sostenible (muy en particular, la de la Royal Society of Chemistry, Green Chemistry Network, www.rsc.org/chemsoc/gcn/; www.greenchemistry.ca/) que nos muestran otras convocatorias de encuentros y publicaciones internacionales, dando cuenta, de este modo, de la importancia que está adquiriendo este campo de la química a nivel mundial. Cabe destacar también el Green Chemistry Institute de la American Chemical Society (ACS GCI <http://www.acs.org/green-chemistry>) o el Center for Green Chemistry & Green Engineering at Yale (www.greenchemistry.yale.edu), entre otras instituciones que vienen desarrollando este campo.

Asimismo, se ofertan numerosos cursos (por ejemplo, entre otros, el Curso Latinoamericano de Postgrado de Química Verde, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, en colaboración con la UNA y la UNAM, en 2011) y estudios de postgrado, Máster, en Química Sostenible, por diferentes universidades

(De la Hoz, 2009) en un número creciente de países tanto desde el área de química como de ingenierías, en los que se pretende que los estudiantes adquieran conocimientos básicos de los principios de la química sostenible y su aplicación a procesos químicos industriales; conozcan las herramientas y las áreas generales de trabajo de la química sostenible; detecten la toxicidad/peligro como una propiedad física/estructural que puede ser diseñada y manipulada y sean capaces de comprender y valorar adecuadamente ejemplos de procesos industriales donde se cumplen los principios de la química sostenible (accesibles en redqs.s43.eatj.com/redqs/redQS/es/docencia.jsp, de la Red QS, y en las de las diferentes universidades convocantes).

También podemos apreciar el desarrollo de este campo, en el caso de España, desde la propia industria química a través de las actividades, por ejemplo, de la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible (www.pte-quimicasostenible.org/ vinculada a la Plataforma Tecnológica Europea de Química Sostenible), una iniciativa promovida por la Federación Empresarial de la Industria Química Española en colaboración con la Red OTRI de Universidades y el apoyo del Ministerio Ciencia e Innovación. O por las preocupaciones relacionadas con la protección del medio ambiente y las perspectivas de futuro, dentro del marco de la sostenibilidad, que se expresan en el Primer Informe de Sostenibilidad de la Industria Química Española de 2007, promovido por el Observatorio Industrial del Sector Químico del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (accesible en www.mityc.es/industria/Observatorios/Paginas/Index.aspx), en el que se señala, entre otras cosas, que el sector viene reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1990 y prevén alcanzar el 25% en 2012.

Son muchas e importantes, pues, las tendencias positivas, los pasos que se vienen dando en torno a las posibles aportaciones de la química a la construcción de un futuro sostenible; pero no son menos importantes los retos pendientes a los que tenemos que dar respuesta, el camino que todavía queda por recorrer: es necesario seguir investigando en términos de prevención, de seguridad, de eficacia... estudiar las interacciones ambientales en un rango de escalas espacial y temporal amplias, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de los productos... es necesario desarrollar nuevas metodologías de detección, identificación y separación de contaminantes, comprender y desarrollar procesos catalíticos y biocatalíticos, mecanismos de los cambios fotoquímicos y los de toxicidad, impulsar las fuentes renovables de materias primas, estudios en el campo de la biomasa, en la reutilización de residuos, de las catálisis en las células solares fotovoltaicas, etc., etc.

Sabemos que algunos de los problemas ambientales tienen en la actualidad soluciones tecnológicas viables, pero otros todavía no. Por ello, la investigación en el campo de la tecnología para la sostenibilidad (en el que hemos querido destacar el papel de la química pero que, según hemos venido señalando, deberá ser necesariamente interdisciplinar) debe seguir impulsándose. Pero, como ya comentamos, a menudo

las dificultades para avanzar hacia la sostenibilidad no radican tanto en la disponibilidad de tecnologías limpias como en superar los obstáculos que dificultan su puesta en marcha efectiva. Obstáculos en cuya superación también las medidas políticas y educativas juegan un papel trascendental, como ya hemos venido insistiendo.

Ya nos hemos referido al hablar de las medidas a la necesidad de tener siempre presente el Principio de Precaución, íntimamente relacionado con las implicaciones del desarrollo de la química. Podemos referirnos a algunas otras medidas en el ámbito de la acción política que suponen un avance en este sentido, como, por ejemplo, el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, que entró en vigor en mayo de 2004, aunque sus orígenes se remontan a la Cumbre de Río de 1992, y al que se han adherido ya casi un centenar de países (ver *Eliminando los COPS del Mundo: guía del Convenio de Estocolmo sobre COP* en www.pops.int/documents/guidance/beg_guide_langs/sp_guide.pdf, elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente, PNUMA, 2005). Un tratado que, además de tener entre sus metas reducir y llegar a eliminar totalmente doce de los COP más tóxicos, prepara el camino para un futuro libre de COP. Y una vez más podemos ver la vinculación de las medidas ya que el Convenio de Estocolmo supone un impulso de los avances tecnocientíficos en el campo de la sostenibilidad que exige su cumplimiento.

Y el texto del PNUMA citado termina dedicando un apartado a la necesidad de “Trabajar juntos” para lograr ese futuro sin COP, un trabajo basado en la solidaridad y la cooperación internacional, en la participación colectiva de los gobiernos y de la ciudadanía, que deberemos impulsar para su completa implantación y extensión a la totalidad de los países. Y ello conecta, asimismo, con la necesidad de las medidas educativas.

Una vez hemos visto el importante papel de la química en las medidas para salir al paso de los problemas que afectan a la humanidad, nos referiremos, en particular, a la importancia de la enseñanza de la química para avanzar en la necesaria *r-evolución* para la sostenibilidad.

Nos centraremos aquí en mostrar cómo la enseñanza de la química constituye una herramienta privilegiada para abordar el estudio global de la situación del mundo y contribuir a una mejor comprensión de los problemas y las medidas que se pueden adoptar ante la actual situación de emergencia planetaria y, muy en particular, a la implicación de la ciudadanía en las acciones necesarias.

Educación química para un futuro sostenible

Ya nos hemos referido a la importancia de la educación y a las características que debemos impulsar de la misma para que contribuya a la construcción de un futuro sostenible, tanto desde la educación formal como no reglada (museos, exposiciones, prensa, radio, TV, documentales, etc.).

El llamamiento de Naciones Unidas a los educadores *de todos los niveles y materias*, para que contribuyamos a formar una ciudadanía consciente de la situación de emergencia pla-

netaria en la que nos encontramos y preparada para la toma fundamentada de decisiones, puede y debe ser atendido de muy diversas formas (ver www.oei.es/decada/estrategia.htm). Pero una fundamental, sin duda, consiste en la incorporación funcional de esta problemática en los currículos respectivos. De hecho, podemos encontrar en la literatura investigaciones e innovaciones que muestran cómo se puede incorporar esta problemática en el currículo de diferentes niveles educativos incluyendo los universitarios y en particular en la formación del profesorado, así como los avances detectados cuando se lleva a cabo en el aula con estudiantes y profesores en formación (Gil Pérez *et al.*, 2003 y 2005; López *et al.*, 2005).

Al igual que ocurre con otras disciplinas, para el caso de la enseñanza de la química, muy en particular, son muchas las ocasiones en las que se puede hacer referencia más o menos puntual a algunos de los problemas a los que la humanidad ha de hacer frente hoy. Podemos referirnos, por ejemplo, a la contaminación que impregna todas las actividades humanas, en todas sus formas (aire, suelos, aguas... debida a gases tóxicos, residuos radiactivos, vertidos industriales y urbanos, mareas negras, metales pesados, plásticos, etc.), y sus consecuencias (lluvia ácida, adelgazamiento de la capa de ozono, incremento del efecto invernadero con sus secuelas del cambio climático que está generando, etc.) en diferentes momentos del currículo, en los cursos y niveles correspondientes: al estudiar la química de la atmósfera, las propiedades de las sustancias, el comportamiento de los gases, el papel de la energía en las transformaciones, etc.; cuando se abordan la teoría cinético molecular, las reacciones químicas (en particular las reacciones redox y ácido base), la termoquímica (pilas, baterías...), el equilibrio químico, la industria química, las materias primas, las síntesis orgánicas, los hidrocarburos, las macromoléculas, los nuevos materiales...

Del mismo modo, por señalar otro ejemplo, podemos referirnos al problema del agotamiento de los recursos al abordar las fuentes fósiles de energía (petróleo, gas natural, carbón...) en química orgánica e industrial, o en las síntesis de sustancias de interés y la necesidad de materias primas y otros temas de los citados para el problema de la contaminación ambiental y sus secuelas. En realidad es bastante difícil encontrar un capítulo del currículo de química de cualquier nivel educativo que no se preste para estudiar algunos de los problemas ligados a la situación del mundo y a las medidas que se deben adoptar.

Y, además, si se pretende lograr un aprendizaje significativo y que contribuya a despertar el interés de los estudiantes hacia la química y su enseñanza, saliendo al paso de las visiones descontextualizadas de la misma (Gil *et al.*, 2005), el tratamiento de estas cuestiones se hace imprescindible. ¿Cómo no hacer referencia, por ejemplo, a cuestiones como la contaminación o el agotamiento de los recursos a las que acabamos de referirnos y a sus repercusiones en el aumento de las enfermedades y de la pobreza extrema en el planeta?, o ¿cómo no resaltar el papel jugado por la química atmosférica en la detección de los problemas (y la búsqueda y puesta a punto de

soluciones que nos implican a todos) de la capa de ozono o el cambio climático?

Pero no se trata sólo de asomarse de forma puntual, en el currículo de química, a algunos de los problemas a los que ha de enfrentarse la humanidad y sus posibles soluciones. Lo que queremos resaltar aquí es que es posible, desde el estudio de la química, abordar globalmente dicha problemática de una manera funcional. Algo absolutamente necesario por el carácter sistémico de la misma, que obliga, como hemos visto, a contemplar conjuntamente los problemas estrechamente interconectados y las posibles soluciones (Vilches y Gil Pérez, 2003 y 2008).

La enseñanza de la Química como ocasión privilegiada para adquirir una visión global de la situación del mundo

En trabajos precedentes a los que nos remitimos (López *et al.*, 2005), hemos intentado mostrar de forma detallada que, efectivamente, el estudio de una temática como la energía, por ejemplo, que se incluye en los currículos de ciencias, permite conectar de una forma funcional con el conjunto de problemas a los que la humanidad ha de hacer frente y proceder al estudio de sus causas y de las medidas necesarias para su tratamiento. No disponemos aquí del espacio suficiente para exponer con la profundidad adecuada cómo abordar esta problemática a partir de alguna temática relativa al currículo de química, pero sí nos referiremos someramente a algunas de las estrategias que hemos ensayado con buenos resultados.

Al proceder al estudio de los hidrocarburos y sus fuentes, por ejemplo, se puede plantear la cuestión ¿Cuáles pueden ser los problemas asociados a la obtención y consumo del petróleo? (o el carbón, el gas natural...); o, similarmente, al estudiar las reacciones químicas, o las síntesis orgánicas, plantear esta otra: ¿Cuáles pueden ser los problemas asociados a la síntesis de sustancias químicas? Proponemos esta actividad a los estudiantes, insistiendo en que es preciso hacer un esfuerzo para no olvidar ningún problema importante porque, como después se verá, están estrechamente vinculados e ignorar alguno o bien olvidar sus vinculaciones puede bloquear el tratamiento del conjunto. Sus respuestas, después de una puesta en común, se van cotejando con las propuestas de los expertos. Con ello se pretende favorecer una reflexión colectiva en torno a los problemas a que la humanidad ha de hacer frente hoy. Una reflexión detenida, que no se limite a una simple transmisión de información, sino que favorezca la participación en la construcción de conocimientos y una aproximación a la visión global, holística de la situación del mundo.

La estrecha vinculación de los problemas permite (y favorece) la adquisición de la visión global de los mismos, sea cual sea el tema de partida. En efecto, de entrada, al plantear por ejemplo: ¿Cuáles pueden ser los problemas asociados a la síntesis de sustancias químicas? suelen aparecer cuestiones relativas a los problemas ambientales que algunas de dichas sustancias provocan; podemos recordar los relacionados con los Contaminantes Orgánicos Persistentes, COP, en particular los

problemas relativos al DDT y otras sustancias tóxicas originadas en la producción de plásticos, plaguicidas y la incineración de residuos, la contaminación debida a las pilas y baterías eléctricas, a los materiales plásticos como el PVC, los compuestos clorofluorcarbonados CFC y sus consecuencias en la capa del ozono, a las que ya nos hemos referido, así como los asociados a la utilización de la energía nuclear, al uso de combustibles fósiles, etc., etc.; y se puede después plantear que consideren otros tipos de contaminación que suelen quedar relegadas pero que son igualmente perniciosas para los seres vivos y el medio ambiente: aparecen así referencias a *la contaminación espacial*, provocada por los desechos en órbita que constituyen una amenaza creciente para las actividades realizadas en el espacio; *la contaminación lumínica*, que en las ciudades altera el ciclo vital de los seres vivos e impide gozar del cielo estrellado; *la contaminación visual*, que altera y empobrece el paisaje; *la contaminación acústica*, con sus gravísimas consecuencias para la salud de las personas, etc.

Esta problemática de la contaminación conecta rápidamente, como ya vimos, con el problema de la destrucción y el agotamiento de recursos y cómo dicho agotamiento contribuye a la contaminación a su vez y sus repercusiones en todos los ecosistemas; podemos referirnos a lo que supone el agotamiento del petróleo que constituye no solo la pérdida de un combustible sino también de una materia prima, en ocasiones exclusiva, de multitud de materiales sintéticos. Y se puede seguidamente plantear qué otros recursos corren peligro de grave disminución, lo que permite a los estudiantes referirse al descenso de los recursos hídricos o de las pesquerías, a la disminución de la masa forestal, de suelo cultivable, etc., sin olvidar las implicaciones sociales como el incremento de las enfermedades, pandemias, pobreza extrema, etc., que estos problemas estrechamente relacionados conllevan.

Ello se vincula fácilmente con las causas que están detrás de dichos problemas: la apuesta por un crecimiento insostenible (aumento desproporcionado de consumo de materia y energía en un planeta de recursos limitados), causado por el hiperconsumo de los países desarrollados y por la explosión demográfica (un problema que merece una discusión detenida, dada la desinformación existente al respecto entre muchos estudiantes). Y se puede seguir vinculando los problemas al señalar que ese hiperconsumo y la explosión demográfica dibujan un marco de *fuertes desequilibrios*, con miles de millones de seres humanos que apenas pueden sobrevivir en los países en desarrollo y la marginación de amplios sectores del mundo desarrollado... mientras una quinta parte de la humanidad ofrece su modelo de sobreconsumo: en los países desarrollados, con menos de una cuarta parte de la población mundial, consumimos entre el 50% y el 90% de los recursos de la Tierra, generamos las dos terceras partes de dióxido de carbono, nuestras fábricas, vehículos y sistemas de calefacción originan la mayor parte de desperdicios tóxicos del mundo, las tres cuartas partes de los óxidos que provocan la lluvia ácida, y nuestras centrales nucleares más del 95% de los residuos nucleares del mundo, por ejemplo. Un habitante de

estos países consume tres veces más de agua y diez veces más energía que uno de un país pobre. Estos fuertes desequilibrios existentes entre distintos grupos humanos, con la imposición de intereses y valores particulares, se traducen por tanto en todo tipo de conflictos: guerras, terrorismo, actividades de las mafias y de empresas transnacionales que imponen sus intereses particulares escapando a todo control democrático.

Como vemos, toda esta problemática puede abordarse de forma funcional desde la química (mostrando las estrechas vinculaciones de los problemas y cómo se potencian mutuamente) al plantear el estudio de las sustancias de síntesis, que hemos propuesto como ejemplo. Se comprende, así, cómo el estudio de la química puede ser una ocasión privilegiada para aproximarnos a una visión global de los problemas que afectan a la humanidad, de estudiar el entramado de causas y efectos que caracterizan a la situación del mundo. Pero recordemos que no basta con diagnosticar los problemas, con saber a qué debe ponerse fin: "Estudiar exclusivamente los problemas provoca, en el mejor de los casos, indignación, y en el peor desesperanza" (Hicks y Holden, 1995). Es preciso por ello impulsar a explorar futuros alternativos y a participar en acciones que favorezcan dichas alternativas. Y el estudio de las sustancias de síntesis, de nuevo, vuelve a ser una ocasión oportuna para analizar las soluciones a una situación insostenible.

Como respuesta a esta nueva cuestión, los estudiantes avanzan propuestas relacionadas con los tres tipos de medidas interconectadas a los que nos hemos referido en apartados anteriores y muy en particular a hacer referencia al importante papel de la Química, en la solución de los problemas que afectan a la humanidad, lo que permite introducir el concepto de Química Verde o Sostenible. No podemos detenernos en mostrar cómo ir abordando las posibles medidas, aunque todo lo señalado respecto al papel de la química en la sostenibilidad y su vinculación con los otros tipos de medidas necesarias ha quedado esbozado en el apartado anterior de este trabajo. Pero si queremos insistir de nuevo en que si bien el estudio de la química, de las sustancias de síntesis en particular, es una ocasión excepcional para abordar las soluciones tecnológicas a los problemas, es necesario recordar que ninguna acción aislada puede ser efectiva; se precisa un entramado de medidas que se apoyen mutuamente. No es posible resolver los problemas asociados a la síntesis de estas sustancias sin, por ejemplo, interrumpir el crecimiento explosivo de la población o sin poner fin al hiperconsumo y al despilfarro social que suponen carreras armamentísticas que absorben elevados porcentajes de los recursos energéticos y materiales y a las que se destina más del 50% de los esfuerzos de investigación (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1988; Mayor Zaragoza, 2000). Es necesario aprovechar el estudio de estos problemas para cuestionar, en definitiva, la idea errónea de que las soluciones a los problemas con que se enfrenta hoy la humanidad dependen *únicamente* de un mayor conocimiento y de tecnologías más avanzadas, olvidando que las opciones, los dilemas, a menudo son fundamentalmente éticos. Ello permite referirse, como

hemos señalado, a las medidas educativas y políticas, igualmente necesarias.

Antes de terminar este apartado dedicado a la contribución de la educación química a la sostenibilidad, queremos referirnos a la importancia de algunos cambios habidos en los currículos de química que pueden ayudar a que esta contribución se haga realidad en las aulas con una cada vez mayor implicación de los docentes. Se trata, sin duda, de pasos importantes que contribuirán a la sostenibilización curricular y en definitiva a la atención que esta problemática merece para la formación de ciudadanos, de profesionales comprometidos con la construcción de un futuro sostenible. Pero no podemos olvidar que el avance hacia la sostenibilidad no es una tarea fácil, que requiere cambios profundos, radicales, en nuestras formas de vida y organización social, una auténtica [r]evolución a la que nos referíamos anteriormente que exigirá una implicación de los docentes como se viene reclamando. Nos referiremos brevemente, en particular, a este papel de los educadores en el proceso de construcción de la sostenibilidad.

¿Cómo podemos contribuir los educadores?

Es importante señalar la necesidad de que los educadores asumamos e impulsemos un compromiso por una educación para la sostenibilidad, en el marco de la Década que Naciones Unidas promueve para 2005-2014, incorporando a todas nuestras acciones educativas la atención a la situación del mundo, reivindicando e impulsando desarrollos tecnocientíficos favorecedores de la sostenibilidad, así como multiplicando las iniciativas para implicar al conjunto de docentes y ciudadanos en general.

Se precisa, por tanto, un esfuerzo sistemático por incorporar la educación para la sostenibilidad como un objetivo clave en la formación de los futuros ciudadanos y ciudadanas y hacer comprender la necesidad de acciones que contribuyan a un futuro sostenible en los diferentes ámbitos: consumo responsable, actividad profesional y acción ciudadana. Y es necesario un cuidadoso seguimiento de dichas acciones. Se requieren, pues, acciones educativas continuadas que transformen nuestras concepciones, nuestros hábitos, nuestras perspectivas... y que nos orienten en las acciones a llevar a cabo. Acciones ciudadanas a las que ya nos referimos en las medidas educativas, reflejadas en diferentes publicaciones (Vilches y Gil Pérez, 2008) que incluyen numerosas propuestas concretas recogidas en talleres impartidos a estudiantes de secundaria y universidad y a profesores en formación y en activo. Son propuestas que aparecen reiteradamente en dichos talleres, como fruto de un trabajo colectivo y que resultan básicamente coincidentes con las existentes en una amplia literatura. Propuestas necesarias para la implicación de una ciudadanía que hasta ahora no está respondiendo a la gravedad de los problemas.

Pero la falta de respuesta de la ciudadanía, que requiere los estudios y acciones a las que nos venimos refiriendo, nos afecta también a los educadores *como tales educadores*. Es preciso, pues, confeccionar nuestra propia red de compromisos evaluables en lo que respecta a nuestra dimensión profesional:

¿En qué medida estamos contribuyendo, como docentes e investigadores, a la Década de la Educación por un Futuro Sostenible? ¿Cuál es nuestra respuesta al llamamiento de Naciones Unidas dirigido a los educadores de todas las áreas y niveles para que contribuyamos a la formación de una ciudadanía preparada para participar en la construcción de un futuro sostenible? ¿Cuáles son nuestros compromisos? ¿Qué más podríamos hacer? Con ese propósito hemos construido una red de seguimiento y (auto) evaluación en torno a compromisos concretos, periódicamente evaluables, de nuestra actividad educativa e investigadora accesible en la web que la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura dedica a la DEDS (www.oei.es/decada/) en la sección *¿Qué podemos hacer?* (www.oei.es/decada/educadores.pdf)

En definitiva, son muchos los avances que están teniendo lugar en la educación para la sostenibilidad desde la enseñanza de las Ciencias y de la Química en particular pero, como hemos visto, todavía queda mucho por hacer para lograr la necesaria respuesta urgente a la situación de emergencia planetaria. Debemos implicarnos plenamente (Moore, 2008) en el objetivo de formar una ciudadanía consciente de los problemas a los cuales ha de hacer frente la humanidad y preparada para la toma de decisiones fundamentadas. Una tarea que, como hemos visto resulta particularmente funcional desde la enseñanza de la química y que, además, constituye no sólo un gran reto en este momento sino, también, un desafío apasionante que puede y debe contribuir a despertar el interés de los estudiantes, mejorando su aprendizaje, saliendo al paso de prejuicios, de visiones negativas hacia las actividades de la química.

A modo de epílogo y perspectivas: 2011 Año Internacional de la Química

Queremos finalizar como empezábamos en la introducción, refiriéndonos a la proclamación del Año Internacional de la Química. El entonces director general de UNESCO, Koïchiro Matsuura, señaló que “Sensibilizar al público de la importancia de las ciencias químicas es una tarea de suma importancia, habida cuenta de los desafíos que debe afrontar el desarrollo sostenible. Es indudable que la química desempeñará un papel muy importante en el desarrollo de fuentes alternativas de energía y la alimentación de la creciente población mundial”. Y según Jung-Il Jin, presidente de la IUPAC con esta celebración “Esperamos aumentar la apreciación pública y la comprensión de la química, aumentar el interés de los jóvenes por la ciencia y generar entusiasmo por un futuro de creatividad relacionada con la química” (portal.unesco.org/es/). Y más en particular:

The International Year of Chemistry – 2011 will:

- Improve the understanding and appreciation of chemistry by the public.
- Enhance international cooperation by serving as a focal point or information source for activities by national chemical societies, educational institutions, industry, governmental and non-governmental organizations.

- Promote the role of chemistry in contributing to solutions to global challenges.
- Build capacity by engaging young people with scientific disciplines, especially the scientific method of analysis developed by hypothesis, experiment, analysis and conclusions.

Se trata, pues, de una iniciativa con la que convergen muchas de las preocupaciones y propuestas que hemos venido desarrollando en este trabajo. Una iniciativa que, como señalan sus impulsores, se basa en la importancia del papel que la química puede y debe jugar, así como en la relevancia de la educación química para contribuir a resolver los “enormes retos que actualmente enfrenta la humanidad para su sobrevivencia, como son el cambio climático, la producción suficiente de agua limpia, de alimentos y de energía, así como la conservación del medio ambiente”.

Nos gustaría terminar este trabajo insistiendo en la necesidad de lograr un clima de implicación generalizada en el logro de la sostenibilidad: aprovechemos la oportunidad que nos brinda esta iniciativa de Naciones Unidas del Año Internacional de la Química, para impulsar los objetivos de la Década de la Educación para un Futuro Sostenible, para implicar a científicos, educadores y ciudadanos en el logro de la sostenibilidad. Impulsemos dicha celebración y sus actividades para que constituyan definitivamente un punto de inflexión en la valoración social de la química y el lanzamiento de los objetivos de la Química Sostenible.

Bibliografía

- Aikenhead, G. S., Collective decision making in the social context of science, *Science Education*, 69(4), 453-475, 1985.
- Anastas, J. & Warner, J., *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- Arjonilla, E. y Garritz, A., Cambio climático. Lo que podemos hacer los educadores, *Educ. quim.*, 18(4), 251-256, 2007.
- Aznar, P. y Ull, M.A., La formación de competencias básicas para el desarrollo sostenible: el papel de la universidad. *Revista de Educación*, número extraordinario 2009, pp. 219-237. (Número completo accesible en: <http://www.revistaeducacion.mec.es/re2009.htm>).
- Bergandi, D. y Galangau-Quérat, F., Le Développement durable. Les racines environnementalistes d'un paradigme, *Aster*, 46, 31-44, 2008.
- Bovet, P., Rekecewicz, P., Sinaï, A. y Vidal, A. (Eds.), *Atlas Medioambiental de Le Monde Diplomatique*, Paris: Cybermonde, 2008.
- Brosimmer, F. J., *Ecocidio. Breve historia de la extinción en masa de las especies*. Pamplona: Laetoli, 2005.
- Burdet, R. & Sudjic, D., *The Endless City*. London: Phaidon, 2008.
- Bybee, R., Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond?, *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153, 1991.
- Carson, R., *Primavera Silenciosa*. Barcelona: Grijalbo, 1980.

- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, *Nuestro Futuro Común*. Madrid: Alianza, 1988.
- Cortina, A. y Pereira, G. (Eds.), *Pobreza y libertad. Erradicar la pobreza desde la perspectiva de Amartya Sen*. Madrid: Tecnos, 2009.
- Daly, H., *Steady-State Economics*. Washington D.C.: Island Press, 1991.
- De la Hoz, A., Los estudios de posgrado en química sostenible en España, *Educ. quim.*, **20**, 4, 405-411, 2009.
- Delibes, M. y Delibes de Castro, M., *La Tierra herida. ¿Qué mundo heredarán nuestros hijos?* Barcelona: Destino, 2005.
- Delors, J. (Coord.), *La educación encierra un tesoro. Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI*. Madrid: Santillana. Ediciones UNESCO, 1996.
- Diamond, J., *Colapso*, Barcelona: Debate, 2006.
- Duarte, C., (Coord.), *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), 2006.
- Duarte Santos, F., *Que Futuro? Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento e Ambiente*. Lisboa: Gradiva, 2007.
- Flavin, C. y Dunn, S., Reinención del sistema energético. En: Worldwatch Institute, *La situación del mundo 1999*. Barcelona: Icaria, 1999.
- Garriz, A., Química verde y reducción de riesgos, *Educ. quim.*, **20** (4), 394-397, 2009.
- Gil-Pérez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago de Chile: OREALC/UNESCO, 2005.
- Gil-Pérez, D., Vilches, A., Edwards, M., Praia, J., Marques, L. y Oliveira, T., A proposal to enrich teachers' perception of the state of the world. First results, *Environmental Education Research*, **9** (1), 67-90, 2003.
- Girardet, H., *Creando ciudades sostenibles*. Valencia: Tilde, 2001.
- Hayden, T., 2008 *El estado del planeta*. National Geographic España. Madrid: RBA, 2008.
- Hicks, D. y Holden, C., Exploring the future: a missing dimension in environmental education, *Environmental Education Research*, **1**(2), 185-193, 1995.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working Group III Report: *Mitigation of Climate Change*. In: "Climate Change 2007" IPCC, *Fourth Assessment Report (AR4)*. Accesible en: <http://www.ipcc.ch/>, 2007.
- Lewin, R., *La sexta extinción*. Barcelona: Tusquets Editores, 1997.
- López, J., Gil-Pérez, D., Vilches, A. y González E., Papel de la Energía en nuestras vidas. Una ocasión privilegiada para el estudio de la situación del mundo, *Revista de Enseñanza de la Física*, **18**, 2, 53-91, 2005.
- López Cerezo, J.A. y Luján, J.L., *Ciencia y política del riesgo*, Madrid: Ciencia y tecnología, Alianza, 2000.
- Lubchenco, J., Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science, *Science*, **279**, 491-497, 1998.
- Lynas, M., *Marea alta. Noticia de un mundo que se calienta y cómo nos afectan los cambios climáticos*. Barcelona: RBA Libros S.A., 2004.
- Mayor Zaragoza, F., *Un mundo nuevo*. Barcelona: UNESCO. Círculo de Lectores, 2000.
- Mogensen, F., Mayer, M., Breiting, S. y Varga, A., *Educació per al desenvolupament sostenible*. Barcelona: Graó, 2007.
- Moore, J. W., Editorial: Sustainability. *Chemical Education Today, Journal of Chemical Education*, **85**(12), 1595, 2008.
- Moreno, J. S. M. y Pedrosa, A., Ecologic Sustainability and Individual and Collective Everyday Practices. In: Azeiteiro, U. M. et al. (Eds.), *Science and Environmental Education*. Frankfurt: Peter Lang, 2008.
- Novo, M., *El desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*. Madrid: UNESCO-Pearson, 2006.
- Novo, M., La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible, *Revista de Educación*, Número extraordinario 2009, pp. 195-217, (accesible en: <http://www.revistaeducacion.mec.es/re2009.htm>), 2009.
- Pearce, F., *La última generación*. Benasque (Huesca): Barrabes Editorial, 2007.
- Rifkin, J., *La civilización empática. La carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*. Barcelona: Paidós, 2010.
- Sachs, J., *El fin de la pobreza. Cómo conseguirlo en nuestro tiempo*. Barcelona: Debate, 2005.
- Sachs, J., *Economía para un planeta abarrotado*. Barcelona: Debate, 2008.
- Sánchez Ron, M., ¿El conocimiento científico prenda de felicidad? En: Nadal J. (Ed.), *El mundo que viene*. Madrid: Alianza, 1994.
- Sen, A. y Kliksberg, B., *Primero la gente*, Barcelona: Deusto, 2007.
- Vilches, A. y Gil, D., *Construyamos un futuro sostenible. Diálogos de supervivencia*. Madrid: Cambridge University Press, 2003.
- Vilches, A. y Gil-Pérez, D., Educació Química i Sostenibilitat, *Educació Química*, **1**, 30-39, 2008.
- Vilches, A. y Gil-Pérez, D., Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y podemos hacer frente, *Revista de Educación*, número extraordinario 2009, pp. 101-122. (número completo accesible en: <http://www.revistaeducacion.mec.es/re2009.htm>), 2009.
- Vilches, A., Gil-Pérez, D., Toscano, J.C. y Macías, O., *21 Temas de acción clave. Accesibles en la web de la Década de la educación por un futuro sostenible* (www.oei.es/decada), 2009.
- Worldwatch Institute, *State of the World 2007: Our urban Future*. New York: W.W. Norton, 2007.
- Worldwatch Institute, *The State of the World 2009: Into a warming world*. New York: W.W. Norton, 2009.
- Worldwatch Institute, *The State of the World*. New York: W.W. Norton, 1984-2011.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K., Stachowicz, J. J., y Watson, R., Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services, *Science*, **314**, 787-790, 2006.