

# Los retos de nuestra sociedad en el siglo XXI: una breve reflexión desde el ámbito de la Química

José Barluenga Mur

**Resumen:** En este artículo se muestra una breve reflexión sobre la dependencia que tiene nuestra sociedad de la Química en ámbitos tan importantes como la salud, la seguridad nacional la alimentación o la energía y la responsabilidad, que como químicos, tenemos y debemos asumir de cara al futuro.

**Palabras clave:** Químicos, seguridad nacional, salud, Química Verde, energía.

**Abstract:** This article is thought to give a brief reflection about the dependence of the society on chemistry. Specifically, it is focused on topics as relevant as health, national security, food, and energy. Finally, the responsibility that we have to assume as chemists in order to propose further actions is taken into consideration.

**Keywords:** Chemists, national security, health, Green Chemistry, energy.

## Introducción

Este año 2011 es el Año Internacional de la Química. La resolución adoptada por las Naciones Unidas propone *celebrar los logros de la Química y su contribución a la Humanidad*. Los químicos tenemos la obligación, no solo, de poner en valor la importancia que la Química ha tenido en el desarrollo de la humanidad desde su origen en el planeta y la influencia decisiva que va a tener en el futuro inmediato de la sociedad moderna, sino también, de esforzarnos para conseguir divulgar la Química de tal forma que no sea preciso ser licenciado en Química para ser consciente de la influencia decisiva que esta ciencia ejerce en nuestra vida cotidiana. En este contexto una de las primeras tareas a las que nos debemos enfrentar es la de intentar derribar y, en el caso más desfavorable, mitigar las connotaciones peyorativas que tiene la Química en nuestra sociedad y en nuestra cultura y que resultan muy difíciles de eliminar.

En primer lugar se deben de recordar algunas cuestiones, que por obvias no son menos relevantes. Todos los minerales, todos, son Química. Los vegetales están constituidos, única y exclusivamente, de un conjunto de compuestos químicos y, en último extremo, el ser humano es la factoría química más compleja que, a día de hoy, podamos imaginar. Nosotros

estamos constituidos única y exclusivamente por moléculas químicas. Nosotros somos el resultado de la Química.

Si los aspectos peyorativos de la Química se refieren al manejo que de los productos químicos hace el químico, en el que la expresión “*esto tiene química*” es sinónimo de nocivo, peligroso y en última instancia artificial, debemos afirmar con total rotundidad que nuestro error es inmenso. Por supuesto, si la aproximación a la Química se hace sin las debidas precauciones, ésta puede convertirse en un arma incluso muy peligrosa, pero exactamente igual sucederá si hacemos la misma aproximación a cualquier otra ciencia, por ejemplo la medicina, la biología, la física, etc. En definitiva, cualquier abuso o mal uso en la vida conduce siempre a resultados negativos.

De la Química, que es la ciencia que estudia la materia y sus transformaciones, se puede afirmar que es una ciencia íntimamente relacionada con la realidad perceptible, que armoniza la curiosidad con la utilidad al servicio del hombre.

Sin comentar aquí la influencia que la Química ha tenido a lo largo de toda la historia de la humanidad desde la aparición del universo tras la gran explosión, el “big-bang”, se puede formular una pregunta muy sencilla ¿hasta qué punto necesitamos la Química en nuestra vida diaria? Para responder se pueden poner algunos ejemplos que resultan ilustrativos.

En primer lugar nos referiremos a un producto químico, que incluso para algunos licenciados puede suponer una sorpresa, se trata del cloro, un gas tóxico que, sin embargo, es esencial para la vida y el bienestar de la humanidad. De forma muy resumida se puede indicar que el cloro interviene de forma directa o como intermediario en más del 50% de la producción química industrial mundial (la producción europea de cloro en 2009 fue de más de 9 millones de toneladas),<sup>1</sup> y es parte de la vida misma de la industria aeroespacial, mecánica, telecomunicaciones, petroquímica, farmacia, cosmética, construcción, nuclear, metalurgia confección, etc. De todas ellas, la más simple de visualizar, por parte de todos, es la potabilización del agua. Dos de cada cinco personas en el mundo no tienen acceso al agua potable, según la UNESCO. Por este motivo la potabilización del agua continúa siendo uno de los mayores problemas actuales de la humanidad. La cloración del agua es el único sistema que garantiza la llegada de ésta a nuestros hogares en



J. Barluenga

Universidad de Oviedo  
Departamento de Química Orgánica e Inorgánica,  
Instituto Universitario de Química Organometálica “Enrique Moles”  
C/ Julián Clavería 8, 33006 Oviedo  
C-e: [barluenga@uniovi.es](mailto:barluenga@uniovi.es)

**Recibido: 17/01/2011. Aceptado: 24/01/2011.**

las debidas condiciones sanitarias. El cloro siendo un producto tóxico se utiliza para salvar millones de vidas al año.

Ya a principios del siglo XVI Paracelsus (1493-1541) afirmaba: *Todas las sustancias son venenosas, no existe ninguna que no lo sea. La debida dosis determina un veneno o un remedio.* Esta afirmación resulta muy aparente y familiar en el caso de los fármacos. Todos ellos en dosis elevadas son tóxicos, incluso letales, sin embargo, la humanidad los utiliza de forma generalizada en busca de la curación.

En segundo lugar podemos centrar nuestra atención en los polímeros, los materiales orgánicos que están cambiando nuestras vidas. Algunos ejemplos pueden ilustrar esta afirmación. La carcasa de muchos electrodomésticos, los envases, los tejidos, las tuberías de transporte de agua potable, los neumáticos, una gran parte de los materiales que constituyen los automóviles y un larguísimo etc. están elaborados con materiales orgánicos poliméricos. Además, los plásticos son materiales fundamentales en el área sanitaria por su adaptabilidad a cualquier necesidad, por su bajo coste, por su asepsia y por su compatibilidad con otros materiales. Los materiales poliméricos son el principal componente de válvulas, jeringuillas, prótesis, tubos quirúrgicos, bolsas de sangre, filtros para hemodiálisis, etc., incluso el principal material en los quirófanos. En España se calcula que el consumo de plásticos en el sector sanitario es de un kilogramo por persona y año.

El químico también prepara moléculas que presentan actividad biológica y que han sido aisladas de fuentes naturales. Sin embargo, estas fuentes no proporcionan las cantidades demandadas.

En los años 60 del siglo pasado el *National Cancer Institute* de los Estados Unidos inició un programa de *screening* biológico de sustratos naturales. Uno de los primeros éxitos se refiere al taxol. Esta sustancia que posee una complejidad estructural muy elevada, presenta una extraordinaria actividad en todos los cánceres específicos de la mujer. Las fuentes naturales no permiten cubrir ni el 1% de las necesidades, por lo que resulta necesaria su síntesis en el laboratorio. Esta síntesis, que fue conseguida en 1.994,<sup>2</sup> no pasó a escala industrial hasta el año 2.000. A partir de este momento, las farmacias de los hospitales pudieron disponer de este fármaco.

Estos programas de *screening* los están realizando, como no podía ser de otra manera, todos los países avanzados del mundo, incluida España. La preparación en los laboratorios de las moléculas que presentan elevada actividad biológica ha permitido comercializar un elevado número de antitumorales en los últimos años, algunos de estos fármacos han sido descubiertos y puestos en el mercado por la empresa española Pharmamar.

De las actividades socioeconómicas en las que la Química va a jugar un papel central, en el futuro inmediato, voy a referirme a unas pocas, pero que son de una importancia vital.

## Seguridad nacional

Hasta hace poco tiempo, la seguridad nacional se identificaba con la industria militar. Desde la Segunda Guerra Mundial esta industria ha recibido la mayor fuente de capitales y la previsión es que continuará siendo uno de los objetivos prioritarios, aunque no el único, de las potencias más desarrolladas del orbe.

Tanto como la industria militar, la pretensión defensiva actual implica un deseo de mantener una posición tecnológica

hegemónica. *La Química continuará suministrando materiales que son clave para la práctica totalidad de los sectores industriales mundiales.*

## Salud

La mayor parte de los productos farmacéuticos son compuestos orgánicos preparados en el laboratorio. Hoy existen enfermedades para las que todavía no hay fármacos que permitan combatirlas. Además hay que tener en cuenta que el envejecimiento de la población trae consigo mayores gastos sanitarios por el aumento de enfermedades cardiovasculares, artrosis, Alzheimer, otros procesos degenerativos y un largo etc. Por otra parte, aparecen nuevas enfermedades y epidemias como el SIDA y gripes, entre otras muchas, que harán necesarias inversiones que se verán incrementadas año tras año.

El ritmo vertiginoso en la investigación química en áreas como la Genómica, la Biomedicina, la Ingeniería Molecular, la Nanotecnología o la Biotecnología han abierto un campo de conocimiento con posibilidades difíciles de evaluar hoy en día, pero que con toda seguridad supondrán un avance muy beneficioso en el campo de la salud y en el incremento de la esperanza de vida; además, las terapias génicas y los medicamentos a medida están apareciendo con nitidez en el horizonte.

En definitiva, la sociedad demanda soluciones cada vez más rápidas, lo que implica inversiones cada vez mayores en investigación y desarrollo.

## La alimentación

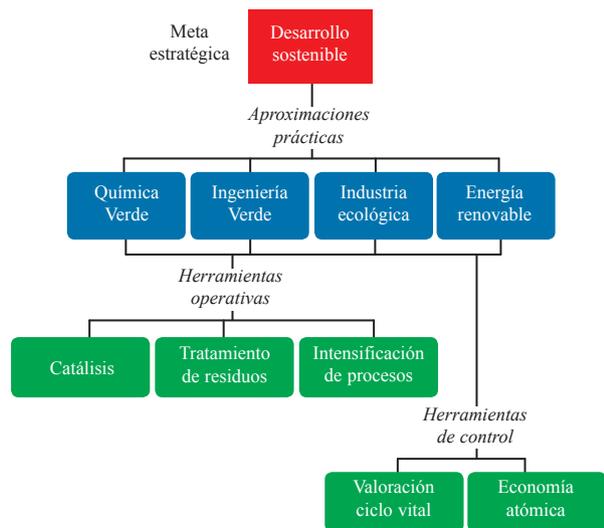
La alimentación es otro problema global al que es menester hacer frente desde ahora mismo. La población mundial en el año 2.000 era de 6.000 millones de habitantes, y se calcula que en el año 2.100 será de 12.000 millones. Este aumento de la población mundial supone un reto implacable para la agricultura y todas las industrias relacionadas con el suministro seguro de alimentos. Es evidente que necesitamos desarrollar nuevas especies más resistentes y productivas. Asimismo, será preciso generalizar las explotaciones modernas y mecanizadas, pero, al mismo tiempo, será ineludible la preparación de abonos y el desarrollo de productos fitosanitarios más eficaces y menos contaminantes que permitan asegurar las cosechas, todo ello, además ha de ser compatible con la conservación del medio ambiente y la biodiversidad.

## El medio ambiente

Otro problema al que se enfrenta la humanidad es la conservación del medio ambiente.

El tratamiento de los residuos industriales y urbanos es un reto global con importantes consecuencias técnicas y económicas. Cualquier proceso industrial nuevo debe tener en cuenta, con carácter prioritario, el impacto medioambiental. Al químico moderno se le exige, no solo que desarrolle nuevos procesos, sino que estos sean limpios. Es decir, se le exige más control, más rigor, más eficiencia y, en definitiva, más ciencia. Hoy existen muchas industrias que se ubican cerca de grandes núcleos urbanos, con los que conviven en una perfecta simbiosis, generando bienestar y progreso.

En todo lo que se ha mostrado hasta aquí se pone de manifiesto que la Química ha influido de una forma directa en el progreso y bienestar de la humanidad. Ha sido en el siglo XX donde esta situación se encuentra más claramente reflejada. La Química ha suministrado energía, medicinas, protección de las cosechas, nuevos materiales, etc. A pesar de ello los productos químicos y la Industria Química poseen una pobre imagen pública. Las razones para ello son varias, en primer lugar hay un gran desconocimiento por parte de la sociedad de los grandes beneficios que la Química ha aportado a la humanidad. Existe alguna otra razón válida y es que la Industria Química, hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX, era una industria contaminante. Generaba cantidades ingentes de residuos y causaba polución en el aire y en el agua. Los problemas medioambientales y de salud, junto con los problemas económicos asociados con el incremento de los precios de los productos petroquímicos, la demanda de energía y materias primas por parte de los países emergentes, fundamentalmente China e India, fuerzan a un cambio que se ha acuñado como sostenibilidad o desarrollo sostenible. En el siguiente esquema se ilustra una aproximación al problema de la sostenibilidad.



Esquema 1. Desarrollo sostenible.

En este esquema se ilustra el concepto de la denominada *Green Chemistry*. La *Green Chemistry* trata de desarrollar procesos químicos que generen la menor cantidad, preferiblemente ninguno, de residuos peligrosos. El mensaje de la *Green Chemistry* es simple “prevenir antes que curar”. En 1998 Anastas y Wainer formulan los doce principios de la *Green Chemistry*:<sup>3</sup>

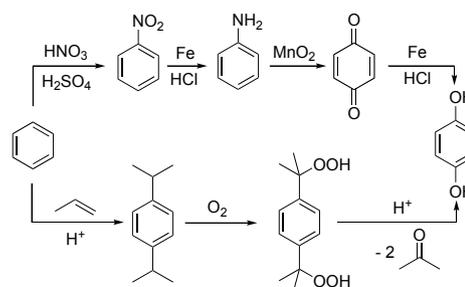
1. Prevenir los residuos en lugar de remediarlos.
2. Eficiencia atómica.
3. Menos productos químicos tóxicos y peligrosos.
4. Diseñar nuevos productos que preserven la funcionalidad al mismo tiempo que se reduzca la toxicidad.
5. Minimizar el uso de disolventes y auxiliares químicos.
6. Eficiencia de energía en el diseño.
7. Uso preferente de materias primas renovables.

8. Evitar la preparación de derivados de forma innecesaria.
9. Procesos catalíticos mejor que procesos estequiométricos.
10. Diseñar nuevos productos que sean biodegradables.
11. Desarrollo de métodos analíticos para prevenir la polución.
12. Diseñar procesos seguros que minimicen la posibilidad de accidentes.

En todos estos principios brilla con luz propia el papel de la catálisis. Los residuos que se generan en la manufactura de productos químicos orgánicos consisten, fundamentalmente, en sales inorgánicas como consecuencia del uso de reactivos inorgánicos en cantidades estequiométricas, especialmente en “Química Fina” y productos farmacéuticos.

Una posibilidad de superar estas limitaciones consiste en sustituir el uso de cantidades estequiométricas de ácidos,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ , etc. y bases tales como NaOH, KOH por ácidos sólidos y bases reciclables, preferentemente en cantidades catalíticas.

Un ejemplo muy instructivo lo ofrece la preparación de la hidroquinona (Esquema 2).



Esquema 2. Dos rutas para la síntesis de hidroquinona.

La hidroquinona se produce por oxidación de anilina con cantidades estequiométricas de dióxido de manganeso para dar benzoquinona,<sup>4</sup> seguida de reducción con hierro y ácido clorhídrico. La anilina se obtiene a su vez por nitración del benceno y reducción con Fe/HCl. El proceso global genera más de 10 kg de sales inorgánicas por kg de hidroquinona. Un nuevo proceso es la oxidación del *para*-diisopropilbenceno, preparado mediante alquilación de Friedel-Crafts del benceno, con oxígeno seguido de una transposición del bis-hidroperóxido catalizada por ácidos. Con este método se genera 1 kg de residuo por kg de hidroquinona producido.

No hay duda de que en el siglo pasado la síntesis orgánica alcanzó un nivel de sofisticación muy elevado de tal forma que puede prepararse, no solo cualquier molécula por compleja que sea, sino que también el desarrollo de métodos de síntesis químico-, regio- y estereoselectivos ha sido espectacular. En algunos aspectos esto ha sido suficiente en determinadas áreas, como por ejemplo el *discovery* en la industria farmacéutica. A escala industrial, y como consecuencia de la presión legislativa en relación con el medio ambiente, es preciso minimizar la producción de residuos y este problema solo se puede resolver mediante la catálisis en todas sus categorías. La catálisis representa una de las tecnologías más importantes en conexión con la Química Verde, de hecho alrededor del 80% de los productos químicos

se preparan utilizando catalizadores químicos. La tendencia debe ser que los nuevos catalizadores, tanto en catálisis homogénea como heterogénea y biológica, han de ser muy selectivos, “altamente eficaces” y aplicables a la producción industrial. En particular, la industria necesita enzimas resistentes y estables a ácidos, bases o sales. Un principio fundamental en el desarrollo sintético eficiente es considerar que cada átomo cuenta. Insistiendo en la síntesis orgánica, campo en el que existen posibilidades de mejora muy importantes, ya que en general las síntesis son multipaso y se realizan paso a paso con rendimientos variables, el proceso ideal debe suponer que el producto se obtenga en una reacción “one-pot” con un rendimiento del 100%, 100% de selectividad y sin generar residuo alguno.

Aunque la catálisis heterogénea supone casi el 90% de los procesos catalíticos industriales,<sup>5</sup> los procesos homogéneos van incrementando su importancia de manera notoria. La ventaja más importante de la catálisis homogénea es la elevada actividad y selectividad que puede conseguirse mediante el “cambio fino” de las propiedades del catalizador. El mayor inconveniente se encuentra en la separación-recuperación del catalizador. Este hecho supone, muchas veces, que los avances científicos básicos no se transformen en avances comerciales.

Nuestra ciencia está unida de forma directa con el futuro de nuestra sociedad. La Química Verde debe de ser promovida no solo por la comunidad científica, sino también por los gobiernos, las industrias y la sociedad en general. Es cierto que se están haciendo importantes avances en el desarrollo de la Química Verde, sin embargo, queda un largo camino por recorrer; los esfuerzos se presentan todavía fragmentados y con cierta falta de cohesión. En el momento actual, nuestros mejores estudiantes pueden conseguir el título de doctor sin haber recibido *ningún entrenamiento formal* en las consecuencias ecológicas de los materiales que manejan.

## La energía

Algunos de los problemas más importantes a los que se enfrenta la sociedad requieren la Química para su solución. Por ejemplo, entender la vida como una red de reacciones químicas que transcurren en agua como disolvente, interpretar las bases moleculares de las enfermedades, el tratamiento del CO<sub>2</sub>, la producción, almacenamiento y conservación de la energía. A continuación se va a realizar una breve discusión sobre este último apartado, el problema de la energía.

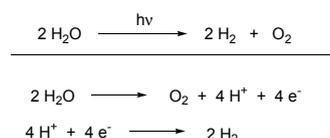
El suministro de energía y el cambio climático son en la actualidad preocupaciones de una gran parte de la sociedad con importantísimas implicaciones para el mundo científico. Las soluciones a estos dos problemas no pueden ser individuales a cada uno de ellos, sino que para lograr un suministro seguro de energía habrá que tener muy en cuenta los efectos en el medio ambiente.

El problema de la energía se circunscribe, fundamentalmente, al problema del aumento de las necesidades energéticas globales. Se calcula que en 2050 la demanda energética será aproximadamente el doble que la actual. Esta demanda podría satisfacerse, en principio, con los combustibles fósiles, principalmente el carbón. Sin embargo, las emisiones de CO<sub>2</sub> que se acumularían en la atmósfera hacen que esta vía sea inasumible con las reducciones de gases de efecto invernadero pactadas en las diferentes reuniones internacionales iniciadas por las Naciones Unidas. Desde diversos foros se ha apun-

tado que el suministro seguro de energía limpia y sostenible es quizá el *reto científico y tecnológico más importante del presente siglo*. En las próximas décadas, la seguridad energética, la seguridad nacional, la seguridad medioambiental y la seguridad económica es probable que solamente puedan conseguirse si se resuelve el problema energético.<sup>6</sup>

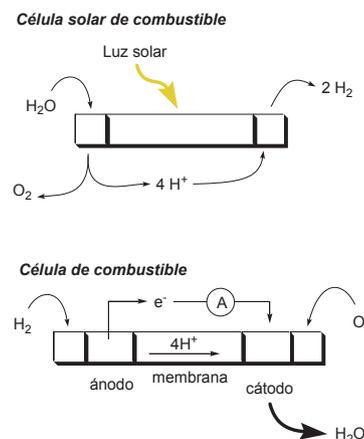
De todas las energías renovables, la energía solar es, con mucho, la que ofrece mayores posibilidades de explotación. El sol proporciona a la Tierra en una hora más energía que la consumida por los humanos en un año. Si la energía solar fuera la mayor fuente de energía primaria sería necesario acumularla para las horas en las que no hay irradiación y poderla suministrar según la demanda. Una aproximación muy atractiva al problema del almacenamiento de la energía solar es transformarla en enlaces químicos, tal y como lo realizan las plantas y las algas en el proceso de la fotosíntesis, pero con una eficiencia mucho mayor para reducir los requisitos de superficie de la tierra. Los desafíos científicos involucrados en este proceso incluyen planes para capturar, convertir y almacenar la energía solar en forma de enlaces químicos, como la producción de oxígeno del agua y de un combustible reducido, como el hidrógeno, metano, metanol, hidrocarburos, etc.<sup>7</sup>

La transformación del agua en oxígeno e hidrógeno y su recombinación para producir agua, es uno de los retos más atractivos. La ecuación mostrada a continuación (Esquema 3) resume el proceso.



Esquema 3. Disociación del agua en sus elementos.

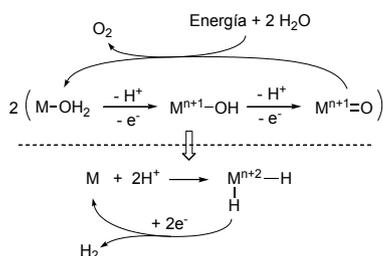
Para que la transformación que se acaba de mostrar tenga lugar son necesarios catalizadores que sean capaces de romper los enlaces H-O del agua y que permitan la transferencia de los electrones a los protones para generar oxígeno e hidrógeno. En la parte superior del Esquema 4 se muestra un diagrama basado en la fotosíntesis natural, como modelo para la fotosíntesis artificial. En la parte inferior se muestra el flujo de electrones y protones en una célula de combustible para la obtención de energía eléctrica a partir del hidrógeno y el oxígeno obtenidos.



Esquema 4. Fotosíntesis artificial y célula de combustible.

La disociación del agua presenta importantes barreras cinéticas y termodinámicas para llevar a cabo la reacción en el sentido deseado; ya que uno de los productos de activación del agua con el catalizador, ya sea molecular o soportado en un sólido, es siempre una especie con un enlace fuerte metal-oxígeno. Para cerrar el ciclo catalítico es necesario que estos enlaces fuertes se rompan por captura de la energía, bien de forma directa o indirecta, y que se produzca el impulso termodinámico suficiente como para que la reacción tenga lugar.

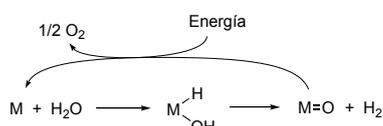
Quizás, el modelo más simple para la disociación del agua es disponer de catalizadores que actúan directamente sobre el agua tal y como se muestra en el Esquema 5.



**Esquema 5.** Disociación catalítica del agua.

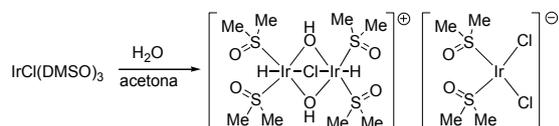
El sistema requiere algún tipo de membrana que permita que los protones generados en el ánodo se transporten al cátodo para su reducción y producción de hidrógeno.

Otro ciclo catalítico que podría aplicarse para la producción de hidrógeno y oxígeno se muestra en el Esquema 6.



**Esquema 6.** Adición oxidante seguida de  $\alpha$ -abstracción de H para producir hidrógeno y un oxocomplejo metálico.

El proceso se iniciaría por una adición oxidante del enlace H-OH del agua al centro metálico. La adición oxidante de enlaces H-X (X = C, N) es un proceso básico en Química Organometálica pero que no se encuentra bien establecido para el caso del agua. Aunque esta transformación ha recibido bastante atención por su potencial aplicación en la preparación de nuevos catalizadores, solamente se han podido preparar y caracterizar unos pocos complejos. En el siguiente esquema se muestra un complejo de Iridio, caracterizado por difracción de rayos X, obtenido por adición oxidante de agua.<sup>8</sup>

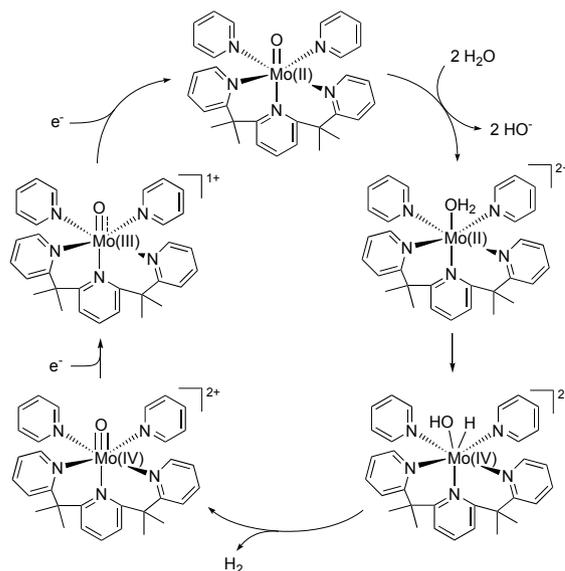


**Esquema 7.** Adición oxidante de agua a Ir(I).

Si esta primera reacción puede lograrse de forma limpia, podría generarse hidrógeno en un proceso de  $\alpha$ -eliminación,

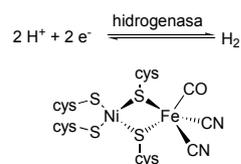
utilizado en Química Organometálica para obtener enlaces múltiples metal-ligando;<sup>9</sup> sin embargo, la abstracción  $\alpha$  para producir hidrógeno y oxo-complejos no se encuentra bien definida para complejos hidroxido-hidruro.

Recientemente se ha descrito un oxo-complejo de molibdeno (Esquema 8) capaz de generar hidrógeno sin usar ácidos ni codisolventes orgánicos y que operaría, según la propuesta mecanística, a través de una adición oxidante de agua.<sup>10</sup> Este compuesto es muy estable y activo, cataliza la generación de hidrógeno a partir de agua neutra tamponada o incluso agua de mar (frecuencia: 2,4 moles de H<sub>2</sub> por mol de catalizador y por segundo; número de ciclos: 6,1x10<sup>5</sup> moles de H<sub>2</sub> por mol de catalizador) siendo uno de los catalizadores electroquímicos más activos. El ciclo electrocatalítico propuesto para la reducción de agua se muestra en el siguiente esquema.



**Esquema 8.** Ciclo electrocatalítico propuesto para la reducción de agua a hidrógeno e hidróxido.

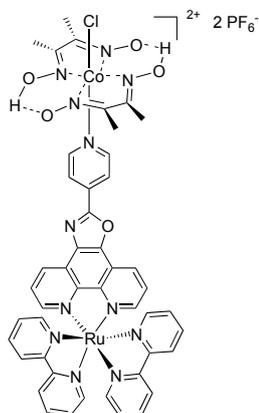
Asimismo, otros grupos de investigación están dirigiendo sus esfuerzos hacia catalizadores que mimetizan el centro activo de las hidrogenasas,<sup>11</sup> o bien a estudiar la inhibición de estas metaloproteasas con el oxígeno, dirigiendo sus trabajos hacia la obtención de metaloproteasas mutadas que puedan operar en condiciones aeróbicas.<sup>12</sup> En el siguiente esquema se muestra el centro activo de una hidrogenasa Fe-Ni.



**Esquema 9.** Centro activo de una hidrogenasa de Fe-Ni.

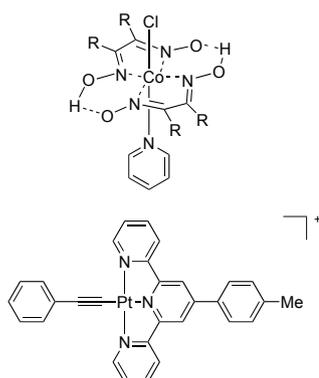
Se han descrito sistemas supramoleculares bimetalicos (Co-Ru) capaces de producir hidrógeno fotoquímicamente en presencia de trietilamina como dador de electrones y tetrafluoroborato de tetraetilamonio como fuente de protones. En estos sistemas se produce una transferencia electrónica

desde el centro fotoexcitado de rutenio al centro catalítico de cobalto (Esquema 10).<sup>13</sup> Este tipo de asociación se encuentra en las algas verdes que producen hidrógeno, en ellas el fotosistema I se encuentra asociado a las hidrogenasas.<sup>14</sup>



**Esquema 10.** Estructura de complejos bimetalicos Co-Ru para la producción de hidrógeno.

De forma similar produce hidrógeno un sistema homogéneo formado por un complejo de cobalto y un complejo de platino como cromóforo en presencia de etanolamina como dador de electrones y agua como fuente de protones (Esquema 11).<sup>15</sup>



**Esquema 11.** Estructura de los complejos de Co y Pt para la producción de hidrógeno.

Por otra parte, se necesita un proceso eficaz de oxidación que permita la generación de oxígeno para completar la descomposición del agua. Se han descrito tanto nanomateriales<sup>16</sup> como catalizadores moleculares<sup>17</sup> capaces de llevar a cabo la reacción bajo condiciones de irradiación. Por otra parte, el desarrollo de células fotovoltaicas que generen hidrógeno y oxígeno sin aplicación de voltajes externos se ha conseguido utilizando semiconductores.<sup>18</sup>

En este apartado se han mostrado algunas de las aproximaciones que se están llevando a cabo para la disociación del agua, pero esto debe enmarcarse en un proyecto científico mucho más ambicioso que es el almacenamiento de la energía solar en forma de enlaces químicos. El camino por recorrer para una disociación del agua eficaz que permita la

producción de hidrógeno barato necesita avances significativos en ciencia básica. La Química tendrá un papel especial en este esfuerzo ya que deberá suministrar los nuevos materiales que se deben crear para la captura y conversión de energía solar, así como los nuevos catalizadores para que la conversión química sea la deseada. Sin embargo, el progreso científico debe de ser, no solo en Química, sino también en Biología, Ingeniería, Ciencia de los Materiales y Física para hacer frente a los desafíos que la ciencia básica se encuentra en la realización de la fotosíntesis artificial y que será fundamental para utilizar el sol de forma sostenible como fuente de energía primaria.

Otro tanto podríamos decir de los temas indicados al principio de este epígrafe. La solución de los problemas requiere un trabajo multidisciplinar que debe conducir, en mi opinión, a una formación también multidisciplinar de nuestros estudiantes y, posiblemente, a enfoques distintos de nuestros estudios.

Creo que el tiempo está maduro para que científicos y políticos discutan estos problemas en busca de mejores alternativas.

## Conclusiones

La Química es la ciencia más relacionada con la realidad perceptible, combina curiosidad y utilidad al servicio directo del hombre.

Hace más de una década se reunieron los representantes de los museos más importantes de Europa y sus conclusiones sobre la Química las resume Jorge Wagensberg, director del museo de Barcelona, en los siguientes términos:

- Tú eres química.
- También lo es el resto del Universo.
- La Química inventa materiales a la carta.
- No existen copias mejores ni peores. Solo existen ejemplares originales idénticos.
- No existen sustancias tóxicas, sólo existen dosis tóxicas.
- La Química proporciona soluciones a sus propios problemas. La presencia de una sustancia peligrosa en nuestro entorno acaso provenga de una reacción química, pero será otra reacción química la que nos libre de ella.
- Beethoven, Dante, Velázquez,... Lavoisier, los grandes triunfos de la Química son comparables a los altos logros de la Cultura.
- Ni siquiera los químicos son perfectos. En cuanto a los beneficios, existen sustancias que la Química no ha sabido reproducir, como la de los hilos de una tela de araña. En cuanto a los riesgos, tomar decisiones compete al ser humano que todo químico lleva dentro y, sobre todo, al químico que todo ciudadano moderno debería ir cultivando en su interior. Por ello, entre otras cosas, hay que amar la Química.

*Creo que es de absoluta justicia indicar que la contribución de nuestra ciencia a la calidad de vida ha sido, es y seguirá siendo enorme y que **debemos de estar y llevar con orgullo nuestra condición de químicos.***

## Referencias

- <http://www.eurochlor.org/>
- a) R. A. Holton, C. Somoza, H.-B. Kim, F. Liang, R. J. Biediger, P. D. Boatman, M. Shindo, C. C. Smith, S. Kim, H. Nadizadeh, Y. Suzuki, C. Tao, P. Vu, S. Tang, P. Zhang, K. K. Murthi, L. N. Gentile, J. H. Liu, *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, *116*, 1597–1598; b) R. A. Holton, H.-B. Kim, C. Somoza, F. Liang, R. J. Biediger, P. D. Boatman, M. Shindo, C. C. Smith, S. Kim, H. Nadizadeh, Y. Suzuki, C. Tao, P. Vu, L. N. Gentile, J. H. Liu, *J. Am. Chem. Soc.* **1994**, *116*, 1599–1600; c) K. C. Nicolaou, Z. Yang, J. J. Liu, H. Ueno, P. G. Nantermet, R. K. Guy, C. F. Claiborne, J. Renaud, E. A. Couladouros, K. Paulvannan, E. J. Sorensen, *Nature*, **1994**, *367*, 630–634.
- P. T. Anastas, L. G. Heine, T. C. Williamson (Eds), *Green Chemical Synthesis and Processes*, American Chemical Society, Washington D.C., 1994.
- P. M. Hudnall, in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol A13, VCH, Weinheim, 1991, p. 499.
- G. Rothenberg, *Catalysis, Concepts and Green Applications*, 2008, Wiley-VCH-Weinheim.
- a) N. S. Lewis, D. G. Nocera, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2006**, *103*, 15729–15735; b) A. J. Esswein, D. G. Nocera, *Chem. Rev.* **2007**, *107*, 4022–4047.
- a) J. A. Turner, *Science* **2004**, *305*, 972–974; b) J. Tollefson, *Nature* **2010**, *464*, 1262–1264.
- a) R. Dorta, H. Rozenberg, L. J. W. Shimon, D. Milstein, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 188–189; b) O. Blum, D. Milstein, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 11456–11467.
- R. R. Schrock, S. W. Seidel, N. C. Mosch-Zanetti, K.-Y. Shih, M. B. O'Donoghue, W. M. Davis, W. M. Reiff, *J. Am. Chem. Soc.* **1997**, *119*, 11876–11893.
- H. I. Karunadasa, C. J. Chang, J. R. Long, *Nature* **2010**, *464*, 1329–1333.
- a) L. Sun, B. Aakermark, S. Ott, *Coord. Chem. Rev.* **2005**, *249*, 1653–1663; b) A. Le Goff, V. Artero, B. Jusselme, P. D. Tran, N. Guillet, R. Métayé, A. Fihri, S. Palacin, M. Fontecave, *Science* **2009**, *326*, 1384–1387.
- a) S. Dementin, F. Leroux, L. Cournac, A. L. de Lacey, A. Volbeda, C. Léger, B. Burlat, N. Martinez, S. Champ, L. Martin, O. Sanganas, M. Haumann, V. M. Fernández, B. Guigliarelli, J. C. Fontecilla-Camps, M. Rousset, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 10156–10164; b) S. Dementin, V. Belle, S. Champ, P. Bertrand, B. Guigliarelli, A. L. De Lacey, V. M. Fernandez, C. Léger, M. Rousset, *Int. J. Hydrogen Energy* **2008**, *33*, 1503–1508; c) A. L. De Lacey, V. M. Fernández, M. Rousset, R. Cammack, *Chem Rev.* **2007**, *107*, 4304–4330; d) C. Gutiérrez-Sánchez, O. Rüdiger, V. M. Fernández, A. L. De Lacey, M. Marques, I. A. C. Pereira, *J. Biol. Inorg. Chem.* **2010**, *15*, 1285–1292.
- A. Fihri, V. Artero, M. Razavet, C. Baffert, W. Leibl, M. Fontecave, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 564–567.
- A. Melis, T. Happe, *Plant Physiol.* **2001**, *127*, 740–748.
- P. Du, K. Knowles, R. Eisenberg, *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 12576–12577.
- a) S. D. Tilley, M. Cornuz, K. Sivula, M. Grätzel, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 6405–6408; b) R. Y. Lin, L.-Y. Chou, S. W. Sheehan, W. He, F. Zhang, H. J. M. Hou, D. Wang, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 499–502.
- L. Duan, Y. Xu, P. Zhang, M. Wang, L. Sun, *Inorg. Chem.* **2010**, *49*, 209–215.
- S. Ida, K. Yamada, T. Matsunaga, H. Hagiwara, Y. Matsumoto, T. Ishihara, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 17343–17345.

**4th European Conference on Chemistry for Life Sciences (4ECCLS)**  
August 31 - September 3, 2011  
Budapest, Hungary

**Invited plenary speakers:**

- Prof. Ivano Bertini (Italy)
- Prof. Iain D. Campbell (United Kingdom)
- Prof. Julio Fernandez (United States)
- Prof. Bernd Krebs (Germany)
- Prof. Wolfgang Lubitz (Germany)
- Prof. Dieter Seebach (Switzerland)

**Invited keynote speakers**

- Prof. Roger Alberto (Switzerland)
- Prof. Andrea Bottoni (Italy)
- Prof. Thoni Brunner (Switzerland)
- Prof. Dieter Enders (Germany)
- Prof. Ernest Giralt (Spain)
- Prof. Ole Hindsgaul (Denmark)
- Prof. Henryk Kozlowski (Poland)
- Prof. Paul Leeson (UK)
- Prof. Sheref Many (Italy)
- Prof. Bengt Nordén (Sweden)
- Prof. Shuguang Zhang (United States)

**Sessions:**

- Biomolecules in 3D
- Dynamics in Biology
- Artificial photosynthesis
- Bioinspired Organocatalysis
- Bioinorganic Chemistry
- Computational Aspects of Biomolecules
- Nucleic Acids
- Glycochemistry
- Frontiers in Medicinal Chemistry
- Peptides/proteins Bioconjugates for Diagnosis and Therapy
- Neurochemistry and neurodegeneration
- Metals in Medicine
- Genomics, Proteomics – Systems Medicine
- Bio-nanotechnology
- Synthetic Biology
- Biogeochemistry
- Tutorials towards Biology

[www.4eccls.mce.org.hu](http://www.4eccls.mce.org.hu)