

FOLIA HUMANISTICA

CIENCIAS - ARTES - LETRAS

Tomo XXXI - Núm. 331

FUNDACIÓN LETAMENDI-FORNS

Marzo - Abril 1983

FOLIA HUMANÍSTICA se publica bimensualmente. El precio de la suscripción es de 3.200,— Ptas. y de 42,— \$ o su equivalente en pesetas para el extranjero (con gastos de envío por correo ordinario incluidos). Toda la correspondencia referente a artículos, críticas de libros, o cuestiones administrativas debe ser dirigida a «Folia Humanística», Muntaner, 303, 08021 Barcelona. Tel. 209 49 29. FOLIA HUMANÍSTICA se reserva el derecho de reproducción de los originales en todos los idiomas quedando únicamente autorizada la reproducción parcial con fines científicos. La revista no mantiene correspondencia por las colaboraciones no solicitadas.

ISSN: 0015-5594

Depósito legal: B. 2546 - 1983

«Folia Humanística» está extractada en el «Current Contents»
del Instituto para Información Científica, de Filadelfia

J. A. PÉREZ-BUSTAMANTE DE MONASTERIO
Catedrático de Química de la Universidad de Cádiz

LA QUÍMICA ACTUAL Y SU PREVISIBLE DESARROLLO FUTURO*

Chemistry: from now Onwards

Conceptuación social de la Química

En contraste con la evolución histórica de la importancia social de la Química, la imagen social de esta Ciencia ha seguido una trayectoria bien distinta, especialmente en la segunda mitad del presente siglo.

La importancia de la química no ha cesado de aumentar, especialmente en los dos últimos siglos, tanto por su espectacular desarrollo intrínseco, como por la trascendencia social de sus aplicaciones, cuyo número y diversificación de aspectos ha cristalizado en la creación de inmensos complejos industriales químicos y químico-farmacéuticos que han abierto un número inmenso de puestos de trabajo y cuya producción representa un sumando muy importante en la economía de los países más industrializados. En consecuencia, puede

* Trabajo realizado con una beca de la Fundación Letamendi-Forns.

asegurarse sin lugar a dudas, que el progreso científico de la química ha trascendido en un sinfín de desarrollos tecnológicos que han contribuido de modo muy directo y notable al progreso y bienestar de la sociedad actual, siendo su protagonismo tan generalizado como implica la afirmación del premio Nobel Todd: «Dondequiera que miremos vemos química».

Esta prácticamente total omnipresencia de la química en la actividad humana diaria se deriva muy directamente del carácter interdisciplinario de la química actual, que presenta muchas fronteras de contacto con las restantes Ciencias Experimentales, situándose en una posición intermedia entre la Física y la Biología.

La Historia demuestra que es precisamente en la periferia de las áreas de conocimiento distintas, en sus zonas de interacción recíproca, donde se produce el mayor número de descubrimientos y esto se aplica de modo muy profuso en relación con la química, que constituye una Ciencia que ha roto claramente con sus esquemas tradicionales de desarrollo específico invadiendo numerosas áreas de conocimiento anteriormente separadas, dando lugar a la aparición de numerosas ciencias fronterizas híbridas, tales como la bioquímica, la biología molecular, la agroquímica, la cristalografía, la petroquímica, la geoquímica, la biogeoquímica, la fotoquímica, etc.

Especialmente destacable resulta el papel actual que la química desempeña en relación con las Ciencias de la Vida y con las Ciencias de los Materiales, disciplina esta última aún en fase de constitución, que presenta muchas interfaces de contacto con múltiples áreas científicas, aparte de la Química. Precisamente es en estas dos amplias áreas de conocimiento donde se espera que la química adquiera un gran protagonismo en el siglo XXI, ya iniciado en décadas recientes del presente siglo.

Cada vez resulta más imprescindible la interacción académico-industrial, en mutuo beneficio para la materialización de las tendencias aludidas, lo que no constituye en modo alguno un hecho nuevo; baste con considerar que la evidente supremacía mundial de la química alemana de finales del siglo pasado y principios del presente fue posible gracias a la adecuada armonización de la colaboración de la Universidad con la Industria, es decir de la Ciencia con la Tecnología.

La industria requiere una continua evolución para poder competir con eficacia, lo que conlleva la necesidad de una renovación constante de sus procesos y métodos de producción, lo que requiere disponer de un amplio montaje de esfuerzo investigador, tanto propio, como ajeno, mediante la colaboración, entre otras posibilidades, de la Universidad con la Empresa, iniciada ya en España con resultados satisfactorios hace relativamente unos pocos años.

La satisfactoria consecución de estos cometidos requiere mantener un proceso de formación continua por parte de los químicos e ingenieros implicados que demanda la adopción de una serie de iniciativas diversas: Impartición de cursos y cursillos especializados, además de conferencias de síntesis panorámica; participación en Jornadas, Encuentros, Reuniones y Congresos –nacionales e internacionales– con presencia de los químicos académicos e industriales; fomento de intercambios, estancias y prácticas en laboratorios universitarios e industriales; realización de trabajos de investigación en colaboración; participación en proyectos de investigación comunes; publicaciones de todo tipo, etc. La consecución de tales objetivos resulta cada día más factible a través, tanto de la colaboración Universidad-Empresa, como –de modo muy especial– de nuevos cauces de financiación que implican subvenciones económicas privadas (p.e., Fundaciones), gubernamentales (Comisiones Asesoras de Investigación Científica y Técnica, convenios internacionales de cooperación científico-técnica, etc.). Por parte de las Universidades los motores fundamentales de puesta en práctica de tales iniciativas están directamente relacionados con el dinamismo de los Departamentos, Vicerrectorados de Investigación, Consejos Sociales y con la política general de investigación de Ministerios y de las Comunidades Autónomas.

Hechas estas breves consideraciones preliminares pasaremos ahora a analizar cual es la actitud actual de la sociedad, en general, frente al protagonismo de la Química.

Se puede generalizar, a diferencia de lo que fue el caso en la primera mitad del siglo actual, en la que la sociedad creyó haber hallado en la química una especie de panacea para la resolución de múltiples problemas, que la concepción social de la química es más bien pobre, cuando no abiertamente hostil.

Tan drástico cambio de la actitud de apreciación social de la química obedece a múltiples factores que abocan a un enjuiciamiento esencialmente carente de realismo y de objetividad, derivado de una generalizada actitud polarizada, incapaz de analizar debidamente la dialéctica de los «pros» y de los «contras», que toda actividad humana conlleva. En consecuencia, factores tales como la ignorancia, la utopía y la impresionabilidad sensacionalista del ciudadano le llevan con frecuencia a enjuiciamientos desfavorables de la química cogiendo literalmente «el rábano por las hojas», es decir ignorando los aspectos más positivos del significado social del quehacer químico –que son ampliamente mayoritarios– prestando atención únicamente a las esporádicas proyecciones sociales de la química de índole más negativa.

Fruto de tales actitudes ha sido la aparición, bastante generalizada entre el gran público, de una auténtica *quimiofobia*, que se puede definir como una reacción espontánea negativa, que tiene lugar cuando la gente escucha palabras

tales como «química», «industria química», «producto químico», etc., donde la palabra «química» adquiere una connotación fundamentalmente antinatural y lesiva para la Naturaleza y el hombre, consecuencia todo ello de no considerar debidamente las dos caras que presenta una misma moneda, la química, una positiva y otra negativa.

Entre los factores que han contribuido a generalizar el actual y extendido sentimiento de quimiofobia en el ciudadano podemos citar los siguientes:

- * La ignorancia cultural, asociada con una actitud maniqueísta de simplicismo pesimista
- * La tendencia de muchos informadores a silenciar los aspectos positivos de la actividad química
- * Las políticas demagógicas y catastrofistas de información al ciudadano (asociaciones ecologistas, grupos políticos «verdes», etc.), que generalmente sólo cuentan verdades a medias.
- * La dramatización y el énfasis en los aspectos más negativos de la actividad química por los medios públicos de información, en relación con los daños ocasionados por la química sobre el individuo y el medio ambiente
- * El establecimiento de una aureola descalificatoria de todo lo «químico» (equivalente a antinatural, impuro, lesivo, etc.) frente al producto «natural» (supuestamente «distinto», exento de toda peligrosidad, puro, sano, etc.)
- * La especial sensibilidad, o impresionabilidad, del individuo frente a los accidentes y catástrofes químicas, comparativamente con lo que es el caso con otros tipos de accidentes generalizados en otras actividades humanas (minería, construcción, etc.) de alto riesgo, todo ello unido a la incapacidad de valorar simultáneamente las contrapartidas positivas de la actividad química
- * La existencia de un claro prejuicio psicológico-ecológico en contra de la química, dramatizado en exceso y cargado de tintes sombríos
- * La vigencia de una serie de estereotipos que presentan al científico como un ser egocéntrico, paranoico y deshumanizado y al industrial como a un individuo carente de todo escrúpulo frente al entorno y las personas, en aras de la consecución de la riqueza a toda costa, etc.

Como causas fundamentales de la aparición de la indicada «quimiofobia» se aducen, con frecuencia, las siguientes, adicionalmente:

- * La falta de capacidad de los químicos para comunicar con el gran público

- * Los propios responsables industriales no se esfuerzan suficientemente en prestar una imagen positiva de su actividad química
- * La industria química parece estar más atenta a la mejora de sus dividendos financieros que al cuidado del medio ambiente
- * Los medios de información pública suministran una información sesgada e insuficiente sobre la verdadera realidad de la actividad y consecuencias de la química
- * La deficiente formación cultural del gran público, en general, que le incapacita para elaborar un criterio propio sobre la información que recibe

Todos estos factores, y algunos más, juegan cada uno su papel en la indeseable y progresiva creación de la citada actitud de «quimiofobia» en el ciudadano común, bastante explicable, por otra parte, como consecuencia de la interacción de una serie de realidades históricas con la propia ignorancia generalizada del ciudadano en relación con la realidad de la actividad química.

Por no citar sino algunos ejemplos concretos, que han influido grandemente sobre la concepción general de la química para el gran público, mencionaremos brevemente algunos aspectos reales, de signo negativo, que constituyen realidades históricas:

- * Prácticamente hasta mediados del presente siglo la industria química se preocupó muy poco del impacto de su actividad sobre el medio ambiente esgrimiendo razones hoy día más que discutibles (la rentabilidad económica; la capacidad prácticamente ilimitada del medio ambiente para compensar cualquier tipo de perturbación ocasionada por la actividad humana, etc.)
- * En la primera mitad del siglo actual se produjeron diversos accidentes de contaminación industrial del medio ambiente en zonas de América y Europa muy industrializadas (Sonora, valle del Mosa, etc.) que produjeron un gran número de víctimas por intoxicación hasta llegar al gran «smog» londinense del año 1951, que se prolongó durante casi una semana y originó, más o menos directamente, unas 3.500 víctimas por problemas respiratorios. Este hecho señala el fin de tal tipo de accidentes, ya que a partir de entonces se adoptaron drásticas medidas de prevención de la contaminación industrial, que han dado excelentes resultados.
- * La aparición en 1962 del libro «Primavera silencios» (Rachel CARSON), que dramatizaba en términos apocalípticos el problema de la contaminación ambiental, derivada del impacto de la química sobre

el entorno, tuvo una enorme repercusión en favor de la ecología, cuya consideración indujo al Senado de los E.E.U.U. a crear el organismo EPA (Agencia de Protección del Ambiente).

- * Desde los años de la Guerra Mundial el fantasma de la guerra química ha gravitado pesadamente sobre la conciencia del ciudadano imbuyéndole una actitud de miedo y rechazo hacia la química
- * La espectacularidad y gravedad de los recientes accidentes de Seveso en Italia y de Bhopal en la India han influido grandemente sobre la actitud ciudadana general en contra de la industria química

Para el público general, el accidente químico presenta una imagen especialmente perniciosa, frecuentemente distorsionada, favorecida indudablemente por la ansiedad que causan sus consecuencias inmediatas y, a más largo plazo, sobre los accidentados.

De todo lo que hasta aquí va expuesto, se infiere que hay mucho de real y también de ficticio en la actitud de «quimiofobia» actual en amplios sectores del gran público, que en estos momentos se halla especialmente preocupado por la repercusión de la actividad química mundial sobre el medio ambiente, concretamente en relación con problemas tan aireados y tan complejos de evaluar objetivamente como son:

- * la lluvia ácida
- * el efecto invernadero
- * la disminución de la capa de ozono en la estratosfera
- * el problema de los vertidos industriales y nucleares

Por injustificado que pueda parecer, el problema de la «quimiofobia» no deja de tener su razón de ser y sus aspectos positivos, ya que dicho fenómeno ha influido grandemente en un cambio de actitud del hombre actual en relación con la protección del medio ambiente, que constituye un problema esencialmente económico (aunque de gran magnitud) y de progreso científico (investigación de nuevos productos químicos para sustituir a los actuales contaminantes químicos).

Cuestión bien distinta es hablar de una «quimiofobia» irracional y analfabeta, sólo comprensible y justificable por deficiencias en la formación cultural del ciudadano que está, lamentablemente, más extendida de lo que sería deseable.

En consecuencia, una vez expuestos los argumentos y razones que han devaluado la conceptualización general de la realidad de la química ante el ciudadano, llegando incluso en muchos casos a crear la citada actitud de «quimiofobia», es evidente que resulta necesario adoptar las medidas necesarias

para poner las cosas en su justo lugar rehabilitando la imagen perdida por la química ante el público general.

Sin embargo, el empeño de la recuperación de la imagen de la química ante la sociedad no constituye una cuestión sencilla, ni rápida, ya que requerirá poner en práctica un esfuerzo común y sinérgico que tiene que implicar a muy diversos colectivos y organizaciones sociales académicos, industriales y gubernamentales.

A las Sociedades de Química, así como a los medios de comunicación pública les corresponderá un papel especialmente relevante en dicho proceso, que no implica otra cosa que la puesta en práctica de un adecuado programa de educación pública en relación con la realidad actual de la química, considerada integralmente. Se trata de que el ciudadano medio adquiera debida consciencia de la dialéctica de opciones que plantea la consecución del progreso y bienestar de la colectividad humana, sopesando debidamente los aspectos positivos y los riesgos inevitables que supone el progreso del conocimiento químico y su aplicación tecnológico-industrial por el hombre.

Tan importante objetivo solo podrá alcanzarse a través de una adecuada enseñanza de la química y sus aplicaciones a todos los niveles docentes e instruyendo al gran público mediante el concurso de los eficaces medios de difusión de que se dispone actualmente, de tipo audiovisual (documentales televisivos), artículos de divulgación en periódicos y revistas, conferencias para el gran público, literatura de divulgación química, etc.

Sólo a través de acciones continuadas de este tipo resultará posible que el ciudadano medio adquiera debida consciencia de la verdadera importancia e impacto de la química actual sobre el progreso social, capacitándole para discernir el beneficio que le reporta frente a los riesgos a asumir, corrigiendo así falsas imágenes y estereotipos consagrados sobre el significado de la ciencia y del científico, desterrando argumentos falaces consagrados y desdramatizando contrapartidas y aspectos desfavorables realmente existentes, aunque indeseablemente distorsionados en la actualidad.

Todo lo hasta aquí expuesto no constituye sino un problema de mera información y educación ciudadana perfectamente solucionable.

TENDENCIAS ACTUALES Y FUTURAS DE LA QUÍMICA

Sin ánimo alguno de pretender ser exhaustivos, presentaremos en la esta sección diversos aspectos relacionados con la problemática de la química actual y previsible para un futuro próximo, tanto por lo que se refiere a aspectos puntuales de la investigación química en diversas áreas de conocimiento, como

por lo que respecta a la dimensión social de la química, a la luz de las tendencias que se advierten ya claramente en el progreso de dicha ciencia, así como en relación con la problemática general que se cierne sobre la Humanidad, donde la eficaz colaboración de la química puede resultar especialmente decisoria.

Ello no obsta para tener bien presente que la química del futuro seguirá plenamente activa dentro de sus actuales prestaciones, que trascienden prácticamente a todos los ámbitos de la actividad humana en función de los recursos de materias primas disponibles y el encarecimiento progresivo de las mismas, que irá obligando de modo gradual a buscar nuevas alternativas, especialmente por lo que se refiere a la actividad química industrial.

Recientemente, el Comité de Química de las Comunidades Europeas ha establecido diversas áreas de atención prioritaria para la Ciencia y Tecnología químicas de las próximas décadas relacionadas con las siguientes temáticas:

- * *Materiales avanzados, renovables y sustancias ambientalmente favorables, que incluye:*
 - a) polímeros, fibras y materiales compuestos
 - b) cerámicas, vidrios y metales
 - c) adhesivos y recubrimientos
 - e) materiales ópticos y electrónicos (semiconductores y super-conductores; recubrimientos y películas delgadas; materiales ultra-puros; productos químicos de efectos especiales)

- * *Mejora del medio ambiente, que contempla especialmente:*
 - a) métodos analíticos de control
 - b) tratamiento y reciclado de residuos de todo tipo
 - c) desarrollo de fuentes alternativas de energía
 - d) aplicación de la catálisis para la producción de energía y con fines de descontaminación
 - e) conservación de monumentos y edificios de interés histórico

- * *Comunicaciones y transportes eficientes, que incluye cuestiones relacionadas con*
 - a) el desarrollo de motores económicos, no contaminantes
 - b) la producción y transporte económico de la energía (desarrollo de nuevas fuentes de energía y aplicación de nuevos materiales)
 - c) aplicación de procesos catalíticos selectivos
 - d) gasificación del carbón
 - e) transformación de la biomasa en combustibles y otros productos químicos útiles
 - f) obtención de nuevos materiales

- * *Alimentación y Sanidad*, que contempla:
 - a) el aislamiento y síntesis de moléculas biológicamente activas (industrias farmacéutica y agroquímica)
 - b) aplicación del diseño molecular (síntesis química y bioquímica; diseño de nuevos fármacos, etc.)
 - c) desarrollo de métodos de síntesis estereoselectiva
 - d) regulación de las funciones biológicas

- * *Investigación química básica*, que contempla:
 - a) la química-física de sistemas complejos
 - b) perfeccionamiento y desarrollo de nuevos métodos analíticos
 - c) catálisis homogénea y heterogénea
 - d) química coloidal aplicada
 - e) reacciones en estado sólido
 - f) técnicas de separación
 - g) ensayo de materiales

Por su parte, el Comité de Altos Funcionarios COST propuso recientemente como cometidos prioritarios de la atención de la química del próximo futuro las siguientes líneas de atención prioritaria, de especial interés interdisciplinar:

- * *catálisis* (complejos metálicos; diseño molecular; «clusters» gigantes de Pd; sistemas moleculares organizados; producción de energía alternativa; control de la contaminación ambiental; zeolitas, arcillas y óxidos metálicos; heteropolíácidos)
- * *materiales avanzados* (optoelectrónicos, superconductores y de electrónica molecular), que incluyen diversos tipos de óxidos, cerámicas, polímeros funcionalizados, catalizadores, termistores compuestos y diversos materiales amorfos
- * *química médica* (diseño racional de drogas y fármacos; enzimas; neurofármacos; síntesis de péptidos y proteínas; desarrollo de sustancias eficaces en la lucha contra las enfermedades infecciosas y el cáncer, estimulantes del metabolismo y de la formación ósea, etc.)
- * *química de la coordinación* (en el contexto de estudios biológicos y ambientales)
- * *síntesis orgánicas selectivas* (preparación de moléculas conocidas de origen natural y no natural, así como la creación de nuevas estructuras moleculares)
- * *teoría y modelización de sistemas y procesos químicos* (paso clave

para la racionalización y el control de sistemas químicos complejos de interés práctico en aplicaciones medioambientales, médicas y tecnológicas)

- * *electrónica molecular* (diseño y obtención de nuevos materiales de propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas no convencionales, de especial interés energético y medioambiental)
- * *química de superficies e interfases* (de especial interés en relación con la catálisis)
- * *reacciones y procesos químicos en condiciones extremas* (aplicación de la química de altas presiones y temperaturas, la sonoquímica, la plasmquímica, la microgravedad, etc. a la obtención de nuevos compuestos de propiedades mejoradas a través de procesos más selectivos)
- * *química supramolecular*, campo pionero, de enorme futuro, que establece una clara interfase entre la química y la biología, situado en la interacción misma entre las ciencias de los materiales y las ciencias de la vida. La química supramolecular permitirá, entre otras líneas de investigación, llevar a cabo el estudio de procesos biológicos cruciales, así como el desarrollo de sistemas supramoleculares que exhiben propiedades no convencionales. La industria farmacéutica será la primera beneficiaria de los progresos que se alcancen.

La química supramolecular significa la introducción de un nuevo concepto, de una nueva área en la química, relacionada con el estudio de las supermoléculas, cuyas interacciones son determinantes en procesos de alta especificidad (reacciones enzimáticas; complejos proteínicos; asociaciones inmunológicas antígeno-anticuerpo; traslación y transcripción del código genético; inducción de señales por neurotransmisores y reconocimiento celular, etc.).

Los avances en las ciencias y tecnologías moleculares y supramoleculares ofrecen perspectivas nuevas y excitantes en las fronteras de la química con la física y con la biología, especialmente en relación con el desarrollo de nuevos dispositivos en los campos tecnológicos de la fotónica, electrónica y iónica molecular.

Para concluir este breve esquema de aspectos prioritarios que presenta el enfoque de la química del próximo futuro, comentaremos brevemente las recomendaciones elaboradas por el gobierno de los EE.UU. en 1991, como consecuencia de una acción llevada a cabo sobre política nacional tecnológica prioritaria, que cristalizó en la selección de 22 áreas preferenciales, en la

mayoría de las cuales se halla involucrada –en mayor, o menor, medida la química. La mayoría de las áreas de investigación y desarrollo tecnológico seleccionadas se hallan incluidas dentro de las temáticas hasta aquí consideradas en el presente epígrafe. En dicha relación se advierte un fuerte énfasis sobre cuestiones relacionadas con nuevos materiales, energía, transporte, contaminación ambiental, tecnología médica, biología molecular aplicada, miniaturización de componentes e instrumentos, etc., así como toda una serie de líneas de producción relacionadas con la computerización y la informática (aplicaciones de la inteligencia artificial; «software»; microelectrónica y optoelectrónica; redes computadoras de alto rendimiento; sensores y procesamiento de señales; alta definición de imágenes y dispositivos de proyección; almacenamiento de datos y periféricos; modelado y simulación computerizados, etc.). Significativamente, el informe en cuestión no diferencia entre las tecnologías de interés comercial y las de interés para la defensa nacional, considerando implícitamente que dicha planificación cubre adecuadamente todas las necesidades tecnológicas del país, de características más apremiantes.

TEMÁTICAS ESPECÍFICAS DE ESPECIAL INTERÉS ACTUAL Y FUTURO

1. *Química del medio ambiente*

En las últimas décadas se ha suscitado un interés generalizado y creciente para reparar, a través de la adopción de medidas diversas, los daños ya ocasionados y potenciales que se han derivado en buena parte de una larga actividad incontrolada de la industria química y actividad industrial, en general, cuyo crecimiento ha sido exponencial a lo largo de todo el siglo actual.

La cantidad de artículos aparecidos sobre esta temática en los últimos años es abrumadora, aunque plenamente justificada, ante la abundancia de hechos negativos –de origen químico– que se han producido y que afectan directamente al medio ambiente, o a la seguridad de las personas (lluvia ácida; efecto invernadero; reducción de la capa de ozono; accidentes químicos graves como los de Seveso, Bhopal, etc.).

Afortunadamente, existen ya organismos nacionales e internacionales que han tomado cartas sobre estas cuestiones y que coordinan una serie de acciones encaminadas hacia la adopción de medidas adecuadas que permitan ir restaurando progresivamente la calidad de nuestro medio ambiental.

A los químicos les corresponde un papel de gran protagonismo en esta

temática frente a la cual el hombre de nuestros días se halla especialmente sensibilizado.

En 1991 la Federación Europea de Sociedades de Química, en colaboración con otras entidades e instituciones organizó en Budapest un simposio, denominado «Euroenvironment», que constituye el primer precedente de este tipo auspiciado por dicha sociedad.

Mediante la organización de una serie de conferencias plenarias, complementada por la presentación de diversas comunicaciones científicas especializadas, se abordaron, entre otros, los siguientes tópicos, que fueron objeto de una posterior discusión en mesas redondas:

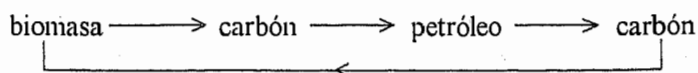
- * La química en la conservación de monumentos
- * La química para la conservación de materiales arqueológicos
- * Especiación de metales en el medio marítimo
- * Contaminación del Océano
- * Técnicas de protección del ambiente
- * Materias primas y reciclado
- * Clima mundial y consumo de energía
- * La contaminación del ambiente y la sociedad
- * Materiales contaminantes de origen antropogénico en la estratosfera
- * Impacto ambiental sobre la hidrología
- * Problemas de la fertilidad de los suelos
- * Contaminación ambiental y alimentación
- * Depósitos atmosféricos
- * Contaminación ambiental y salud
- * Políticas frente al medio ambiente
- * Educación e información sobre el medio ambiente

De algún modo, todas las áreas de la química están, y lo estarán más aún en un futuro inmediato, implicadas en esta amplia temática, que sólo en parte —aunque muy importante— ha surgido de la actividad química del hombre. Sin embargo, la implicación de estas cuestiones no afecta únicamente a la química, sino que se extiende a la mayoría de las ciencias y tecnologías actuales.

2. *Química y biomasa*

Curiosamente, la situación actual y tendencias que se advierten en la problemática general relacionada con la producción de energía y de los materiales combustibles utilizados para dicho fin, nos irán llevando, previsible

y paulatinamente, a recorrer el siguiente ciclo, en relación con las reservas de energía química disponibles, iniciado con anterioridad a la revolución industrial del S.XVIII:



Las alternativas que presenta el futuro de ir sustituyendo gradualmente el empleo de combustibles fósiles, no renovables, para la producción de energía y de un gran número de productos químicos diversos, especialmente por lo que se refiere a las reservas de petróleo, cuyo consumo se prevé que alcanzará su máximo antes de concluir el presente siglo, con independencia del previsible incremento creciente de su precio, sitúan en un primer plano de atención el recurso a la producción y tratamiento de la biomasa, distinguiendo claramente dos tipos:

- * *biomasa no leñosa*: A partir de cosechas agrícolas de diversos cereales y, por aplicación de biotecnologías, se espera llegar a producir grandes cantidades de etanol, para su uso como combustible limpio. Brasil es actualmente el país pionero en este desarrollo, que le ha llevado a la aplicación generalizada de un combustible para automóviles denominado «gasohol», basado fundamentalmente en el etanol. Además, por fermentación enzimática de diversas melazas se prevé la obtención de grandes cantidades de etanol. Por otra parte, a través de manipulaciones de ingeniería genética, se está intentando llevar a cabo la obtención de enzimas adecuadas para realizar la transformación fermentativa directa de la celulosa y materiales afines en etanol. Existen, finalmente, buenas perspectivas de poder llevar a cabo la producción de grandes cantidades de metano mediante procesos de fermentación anaeróbica de diversos tipos de algas, disponibles en muy grandes cantidades
- * *biomasa leñosa* (madera, plantas, etc.): se contempla la puesta en funcionamiento de procesos industriales de *pirólisis* de la madera, que permitirán obtener grandes cantidades de gases (CO , CO_2 , H_2 , hidrocarburos líquidos, metanol, ácido acético, acetona, derivados fenólicos, carbones, etc.), así como de *hidrogenación* para la obtención de hidrocarburos gaseosos, derivados fenólicos y del ciclo hexano, etc., y de *hidrólisis*, para la obtención de hexosas (a partir de las cuales

se obtendrán alcoholes, polioles, cetonas, ácidos, levaduras, etc.), pentosas (para la obtención de levaduras, furfural, polioles, xilosa, etc.) y lignina (para la obtención de hidrocarburos, derivados fenólicos, catecoles, vanillina, etc.)

Según GLESINGER («The coming age of wood», 1949), a través de una planificación adecuada, la producción mundial de madera podría llegar a alcanzar un nivel de 14.000 millones de toneladas/año de madera de un modo permanente, cifra muy superior a la de unos 750 millones de toneladas/año que se obtienen actualmente. En definitiva, a través de tales previsiones el mundo podría producir unas 20 veces más de volumen de madera del que se produce actualmente, con la importante ventaja adicional de que se trataría de una materia prima renovable. Tales previsiones contrastan abruptamente con el proceder actualmente observado consistente en la tala indiscriminada de grandes superficies arbóreas, que además de ir reduciendo drásticamente las reservas mundiales de madera ocasionan importantes daños ecológicos (disminución de la masa vegetal del globo, contaminación ambiental a través de los gases producidos por la combustión de grandes cantidades de biomasa quemadas a cielo abierto, desertización importante y creciente de grandes superficies de bosques, etc.).

El afán de lucro, la deficiente planificación de talas arbóreas, así como el irracional aprovechamiento de la madera para leña en numerosos países subdesarrollados contribuyen actualmente a un deterioro creciente de la potencialidad de un aprovechamiento racional de tan importante y abundante recurso regenerable, como es la madera.

3. *Química marina*

Dejando a un lado la consideración de los recursos marinos potencialmente explotables a escala industrial (combustibles, minerales, etc.) y la problemática perspectiva de explotación que presentan los elementos químicos contenidos en el agua marina a nivel de trazas (ppm), o ultratrazas (ppb, ppt), de los que existe más de medio centenar en disolución, y teniendo en cuenta que actualmente el aprovechamiento de las algas marinas se limita prácticamente a la obtención de yodo y diversos caragenatos y alginatos, cabe esperar que en un tiempo prudencial se desarrolle una *fitoquímica marina* de mayores dimensiones que la actual.

Se calcula que en el mar existen de 20 a 30.000 especies de algas, de las que pueden obtenerse un gran número de sustancias químicas de interés

farmacológico y técnico, mediante el aislamiento de un gran número de principios activos (vitaminas, antibióticos, alcaloides, ácidos grasos, aminoácidos, enzimas, hormonas, colorantes, cosméticos, emulsionantes, esencias, lípidos, heterósidos, flavonoides, etc.).

Otro aspecto de desarrollo previsible en la aplicación de las algas marinas, donde la química puede tener mucho que ver, lo constituye la posible aplicabilidad de las mismas a la alimentación futura del ganado, o de la humanidad, dada la inmensa masa de material de este tipo existente.

Por otra parte, habida cuenta de la gran productividad del medio marino, comparativamente con la producción agrícola terrestre, existen ya proyectos para el futuro relacionados con la implantación de cultivos marinos adecuados para cubrir los previsible déficits de alimentos obtenibles a partir de la explotación agrícola tradicional. La química no dejará de tener su protagonismo en tales proyectos, aplicada al control de los medios nutritivos óptimos para llevar a cabo tales proyectos.

4. *Química y alimentación*

El problema de la alimentación de la Humanidad en las próximas décadas plantea uno de los más grandes desafíos a la Ciencia y Tecnología del futuro, correspondiéndole a la química un importante protagonismo en esta temática, que no significa otra cosa que la lucha contra el hambre, cuestión ya de máxima actualidad.

La población actual del mundo asciende a unos 6.000 millones de personas, mostrando un crecimiento diario de unas 250.000 personas, lo que permite pronosticar –de intervenir factores correctores adecuados– que dicha población llegará a duplicarse, o triplicarse, en el período comprendido entre los años 2.025-2.050.

En la actualidad, más del 25% de dicha población está subalimentada, procediendo en este momento aproximadamente el 98% de los alimentos de cultivos agrícolas terrestres.

La química puede contribuir decisivamente, junto con la tecnología, a la solución del problema de la alimentación del futuro, esencialmente a través de las siguientes actividades:

- * desarrollo de nuevos *fertilizantes químicos*
- * desarrollo de nuevas estrategias en el diseño y aplicación de nuevos *pesticidas*, de acción específica y compatibles con el medio ambiente. La producción actual mundial de pesticidas asciende a unos 2,5-

3,0 millones de toneladas, correspondiendo un 50-60% a herbicidas, un 20-30% a insecticidas y un 10-20% a fungicidas. Los éxitos obtenidos hasta el presente a través del empleo masivo de pesticidas para la protección de las cosechas han sido espectaculares, si bien no han dejado de aparecer, de modo progresivo, una serie de inconvenientes de tipo ecológico, que podrán ser paliados en gran medida en el futuro a través del diseño de nuevas sustancias de acción más específica, combinadas con estrategias de utilización adecuadas, así como a través de la actuación de la biotecnología dirigida hacia la manipulación genética de los organismos de los insectos.

- * Otras acciones relacionadas con la química incluyen la *biosíntesis de proteínas*, a partir, por ejemplo, del petróleo, recurriendo a procesos fermentativos que ya se están investigando; la puesta en funcionamiento de cultivos marinos de algas apropiadas, de gran productividad y alta velocidad de crecimiento.
- * El progreso social creciente, asociado con los requerimientos progresivamente más exigentes de la actual sociedad de consumo demandan, por otra parte, prestar una atención especial a los aditivos alimentarios, necesarios para la consecución de un gran número de cometidos (preservativos de alimentos en conserva, colorantes, aditivos de sabor, antioxidantes, emulsificantes, estabilizantes, edulcorantes, modificadores de la viscosidad y consistencia, etc.)
- * Actualmente se llevan a cabo investigaciones sobre sustancias químicas que actúan de estímulo sobre la fisiología de la conducta de los insectos, ofreciendo, por ejemplo, interesantes perspectivas la síntesis de *feromonas* para utilizarlas como medio de control de plagas producidas por insectos.
- * Cultivo de *microorganismos*, que constituye un potencial enorme de producción de proteínas y que presenta ventajas esenciales vs. los medios actuales de producción de proteínas (vegetales, o animales), como consecuencia de su enorme velocidad de crecimiento, no requerir suelo, ser independiente de la climatología, requerir muy poca mano de obra, etc. La producción de microorganismos con fines alimenticios es una industria tradicional de larga historia, que se pierde en la nebulosa del Neolítico (fabricación de pan, vino, cerveza, etc.) y que presenta especial importancia en relación con la alimentación animal y dietética humana, tanto actual, como futura (p.e., en relación con la obtención prevista de grandes cantidades de proteínas a partir del petróleo)

5. *Química arqueológica y del arte*

Una temática de gran actualidad y de enorme futuro lo constituye la aplicación de la química al estudio de restos arqueológicos y de obras de arte de toda época. Este interesante campo de investigación, sin embargo, no es nuevo pudiendo citarse a DAVY y especialmente a BERTHELOT como pioneros en este campo. Concretamente BERTHELOT investigó la composición química, así como el interés arqueológico de unos 150 objetos diversos procedentes de excavaciones de Egipto, Mesopotamia, Asia Menor y Persia en el período 1870-1910 hallándose sus resultados dispersos en una cuarentena de artículos diversos, que posteriormente fueron editados como colección.

Existe una gran variedad de métodos analíticos químicos, no destructivos, que se aplican a estos menesteres, pudiendo citarse entre los mismos diversos métodos clásicos de análisis microquímico, así como un número creciente de modernos métodos instrumentales de todo tipo (análisis isotópico de ^{14}C , ^{40}Ca , ^{41}Ca , etc.; datación de aminoácidos; métodos de activación neutrónica; termoluminiscencia; espectrometría de absorción atómica, de infrarrojo, de rayos X; radiografía beta y gamma; microsonda electrónica; técnicas cromatográficas diversas; arqueomagnetismo, etc.).

Estas técnicas se aplican al estudio de una gran cantidad de materiales con muy diversas finalidades (establecimiento de la antigüedad; estudio de materiales utilizados en otras épocas; obtención de datos indirectos para muy diversos fines; acreditación de autenticidad de obras de arte; restauración de objetos artísticos; estudios paleoantropológicos para el seguimiento de la evolución de la especie humana; restos de naufragios, etc.).

Entre los materiales investigados se cuentan diversas momias y ornamentos funerarios, resinas, productos textiles, metales y aleaciones, huesos, cerámicas, vidrios, esmaltes, pigmentos, productos cosméticos, monedas, etc.

Como casos curiosos y actuales de este tipo de investigaciones se pueden citar la sábana santa de Turín, supuestamente utilizada como sudario sepulcral de Jesucristo aunque su datación se refiere científicamente a la Edad Media (quedan, sin embargo, diversas incógnitas por resolver, cual es el origen de la misteriosa imagen superpuesta), el mapa de Vinlandia (supuestamente elaborado en el período vikingo a mediados del S. XV y que se sospecha pueda ser una falsificación del siglo actual) el estudio del barniz empleado por Stradivarius para la construcción de sus inimitables violines las momias y enseres diversos hallados en la tumba de Tutankamon, diversas monedas checas acuñadas con «oro alquímico» en los S. XVI-XVIII, etc.

Estos ejemplos ilustran claramente el papel científico auxiliar que puede protagonizar la aplicación de la química en beneficio de diversas ciencias, tales como la antropología, la arqueología, la historia, la numismática, las Bellas Artes, la etnología, etc.

La temática aquí considerada está muy directamente relacionada con el problema de la *contaminación química del medio ambiente*, hasta tal punto que se estima que el deterioro producido en el último siglo por tal motivo en numerosas obras de arte y monumentos, especialmente en los países europeos más industrializados, supera a la derivada de la acción de los agentes atmosféricos desde muchos siglos antes. En consecuencia, aparte de los múltiples medios químicos de restauración, actualmente disponibles, el control de la contaminación medioambiental ya iniciado constituye el medio más seguro para evitar el deterioro adicional de tales objetos y construcciones, deterioro que ya se evidencia con caracteres alarmantes en un gran número de catedrales y edificaciones de alto valor histórico-artístico como consecuencia, entre otras manifestaciones y efectos, de la aparición del llamado «mal de la piedra».

NUEVOS MATERIALES DE ESPECIAL INTERÉS

1. *Cerámicas avanzadas*

Entre los problemas de mayor interés teórico y aplicado que afectan a la Química y a la Física del Estado Sólido se cuenta el desarrollo de nuevos tipos y aplicaciones de materiales cerámicos, campo que nos resulta tan antiguo, como familiar. Constituye una opinión muy extendida que los materiales cerámicos avanzados están llamados a revolucionar la tecnología mundial en el S. XXI.

La situación actual en este campo se considera similar a la que presentaban las superaleaciones en los años 50 del presente siglo.

Aparte de la persistencia de las aplicaciones tradicionales típicas de los materiales cerámicos (aisladores eléctricos, abrasivos industriales, etc.), la nueva dimensión asociada con nuevos desarrollos de cerámicas avanzadas ya está protagonizando y lo hará aún más en un futuro próximo una auténtica revolución tecnológica. Los nuevos materiales se clasifican en dos grupos: cerámicas estructurales (termomecánicas) y cerámicas funcionales (electrónicas, electrotécnicas).

Existen ya muchos tipos de estos materiales que presentan propiedades físicas sorprendentes (mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas, térmicas, médico-biológicas, nucleares, etc.).

2. *Nuevos materiales superconductores*

Al igual que se ha referido en el apartado precedente, el desarrollo de nuevos materiales superconductores presenta un enorme interés actual y muy prometedoras perspectivas de aplicación en un próximo futuro. Entre estos materiales cabe citar muy especialmente diversas aleaciones (Nb-Sn, Nb-Ge, Nb-Al, W-Si, etc.), así como diversos óxidos metálicos sintéticos («Superconductores cerámicos sintéticos») que exhiben la estructura típica de la perovskita (sistemas Ba-La-Cu-O; Y-Ba-Cu-O, etc.).

La teoría que explica las propiedades superconductoras de estos materiales cerámicos, especialmente por lo que se refiere a la «superconductividad caliente» constituye una cuestión a aclarar en un futuro.

Entre las aplicaciones potenciales de este tipo de nuevos materiales, todas muy importantes, se pueden citar las relacionadas con el transporte industrial de energía eléctrica con bajas pérdidas, la miniaturización progresiva de «chips» y «microchips» en computadores, la fabricación de electroimanes superconductores de gran potencia (operativos a temperaturas más altas que las actuales), el transporte marítimo y ferroviario sacando partido del llamativo fenómeno de la levitación utilizando campos electromagnéticos, etc.

Una de las cuestiones más enigmáticas que depara para el futuro la investigación de este tipo de materiales la plantea el interrogante de si llegará a ser posible conseguir producir materiales cerámicos de este tipo que resulten superconductores a temperatura ambiente.

3. *Conductores iónicos sólidos*

Otro campo de enorme interés e importancia tecnológica para un próximo futuro se centra en el desarrollo de conductores iónicos sólidos, área común típica, igualmente, de la Química y de la Física del Estado Sólido, que han revolucionado el concepto tradicional de los compuestos iónicos. Las aplicaciones tecnológicas previsibles de este tipo de compuestos serán inmensas y la química desempeñará un papel fundamental en su desarrollo.

Este tipo de compuestos, también denominados *electrolitos sólidos* presentan una elevada conductividad eléctrica no electrónica, debida a la gran movilidad de sus iones a temperaturas relativamente bajas (150-500°C). Otras denominaciones para estos compuestos son las de *conductores superiónicos* y *conductores de iones rápidos* («Fast-ion conductors»). El antecedente más claro de este tipo de sustancias se remonta a FARADAY, quien observó la

sorprendentemente elevada conductividad eléctrica del fluoruro de plomo a unos 700 °C.

Como ejemplos de este tipo de conductores se pueden citar las beta-alúminas, Ag_2HgI_4 , AgI , $\text{ZrO}\cdot\text{CaO}$, etc.

Estas sustancias, que ya son objeto de aplicaciones industriales importantes y para las que se prevé un prometedor próximo futuro de aplicaciones adicionales han liberado a la tecnología electroquímica de su tradicional servidumbre al estado líquido, con todos sus inconvenientes (fugas, corrosiones, etc.).

Entre las aplicaciones actuales más típicas de los mismos puede citarse su empleo en sensores, baterías de estado sólido (utilizadas, p.e. en marcapasos cardíacos como alternativa a los generadores eléctricos isotópicos radiactivos), fabricación de nuevos tipos de láseres y de materiales luminóforos, desarrollo de baterías de sodio-azufre de rendimiento (potencia/peso) muy superior al del acumulador de plomo tradicional, aunque trabajan a temperaturas relativamente altas (300-350°C).

4. *Polímeros orgánicos conductores*

El campo denominado como *electrónica molecular* presenta un futuro muy prometedor, cayendo dentro del mismo un amplio grupo de sustancias denominadas *polímeros orgánicos conductores*.

Dichos materiales, también denominados *plásticos conductores* resultan revolucionarios en relación con la tecnología de fabricación de baterías eléctricas, ligeras, recargables y de gran potencia, de muy prometedoras características en relación con el desarrollo de vehículos autónomos de tracción eléctrica para un próximo futuro, no contaminantes.

Entre los materiales típicos de este grupo se cuentan el poliacilsulfonitrato, el poliacetileno («drogado»), los polidiacetilenos, los cianobifenilos, el tetratiofulvaleno, el tetracianoquinondimetano, el tetracianometilentetraselenfulvaleno, etc.

Entre las aplicaciones típicas de tales polímeros conductores, aparte de la antes referida, se cuentan las tecnologías de los cristales líquidos, los metales sintéticos («Synmetals»), aplicaciones en la reprografía e informática (almacenamiento de información por medios ópticos en lugar de eléctricos, o magnéticos; empleo de materiales electrofotocrómicos), microcircuitos integrados de tamaño molecular (desarrollo futuro), sensores, células fotoeléctricas, electroluminiscencia, aplicaciones biomédicas (inexploradas hasta el presente), etc.

Existe otro grupo de compuestos, denominados *electrolitos polímeros sólidos* (p.e., sales de elementos alcalinos disueltas en polímeros sólidos polares como el óxido de polietileno; metalftalocianinas «drogadas» con halógenuros; polianilinas «drogadas», etc.).

Tales desarrollos y aplicaciones bien pueden llegar a constituir una nueva área interdisciplinar, que podría denominarse de los *plásticos metálicos*, de los *metales polímeros*, etc.; incluso podría llegar a hablarse de un nuevo estado de la materia *organo-metálico*.

ALGUNOS DESARROLLOS RECIENTES Y TENDENCIAS EN ÁREAS ESPECÍFICAS DE LA QUÍMICA

1. *Química inorgánica*

En el campo concreto de la química inorgánica presenta gran interés un gran número de cuestiones de índole teórica, entre las que citaremos brevemente algunos ejemplos:

- * El desarrollo de la *química de los gases nobles* –tradicionalmente considerados como químicamente «inertes»– campo que sólo cuenta con una antigüedad de unos 30 años y que plantea un gran número de problemas interesantes de tipo teórico.
- * El estudio de *compuestos del tipo de fuerzas de Van der Waals*, de los que ya se han obtenido y estudiado algunos curiosos compuestos formados entre gases nobles y otros elementos ($\text{He}(\text{N}_2)_{11}$; (NeHe_2) , p.e.). Se trata de una nueva familia de compuestos formados a muy elevadas presiones (¡70.000-80.000 atm.!).
- * El estudio de un nuevo tipo de sistemas metálicos, denominados *electruros*, que está iniciando la apertura de una nueva área en la química de los metales. Se trata de un nuevo tipo de asociaciones metal-electrón, del tipo $[\text{Me}]^-$ que se originan por el atrapamiento de electrones solvatados en retículos de metales alcalinos, exhibiendo dichas asociaciones un comportamiento químico propio, muy peculiar. Se origina así un nuevo estado metálico denominado «expandido», extremadamente blando y ligero, correspondiente a asociaciones del tipo $[\text{M}(\text{NH}_3)_n e]^-$. Sin embargo, no se dispone aún de diagramas de rayos X de estas nuevas estructuras cristalinas, cuya inestabilidad ha impedido hasta el presente conseguir su cristalización (hasta ahora sólo se han obtenido todos amorfos). Las propiedades físicas de los

- «metales expandidos», a esclarecer en un futuro próximo, resultan tan curiosas, como fascinantes.
- * La investigación en el campo de los compuestos de coordinación con *macrociclos* presenta un gran interés en relación con el desarrollo de nuevos métodos de separación selectivos recurriendo al empleo de nuevos tipos de membranas.
 - * El estudio de *defectos en sólidos* (orgánicos, inorgánicos, compuestos de Van der Waals) presenta un gran interés en relación con la producción y aplicación de nuevos materiales de propiedades especiales.
 - * El estudio a muy elevadas presiones del *hidrógeno* constituye un tema de gran interés científico en relación con el carácter metálico presumible del elemento, así como de sus previsibles propiedades superconductoras a temperatura elevada (en torno a los 230°K), según predicciones. Para poder investigar estas cuestiones se calcula que será preciso poder llegar a operar con presiones de cuatro millones de atmósferas, actualmente inalcanzables. La aplicabilidad de estas investigaciones se espera que pueda suministrar informaciones de interés en relación con el estado y propiedades del hidrógeno en cuerpos estelares.
 - * Un aspecto curioso, que significa la demolición de un dogma tan consagrado como la imposibilidad de obtención del flúor elemental por vía química, lo constituye la reciente obtención de dicho elemento por reacción entre el pentafluoruro de antimonio y el hexafluoruro manganato (IV) de potasio, a 150° y en un recipiente de acero inoxidable recubierto de teflon, consiguiéndose un rendimiento de reacción superior al 40%. Aunque este nuevo descubrimiento no resulta competitivo para desplazar al consagrado método electrolítico, propuesto por MOISSAN hace más de 100 años, constituye indudablemente un hecho científico importante, que demuestra la futilidad de establecer, o admitir, dogmas científicos, al igual que ocurrió con la supuesta inercia química total de los denominados gases «nobles».

2. Química orgánica

El progreso de la química orgánica en las próximas décadas repercutirá de modo muy directo sobre un gran número de avances científicos y tecnológicos, tanto por lo que se refiere a la química orgánica propiamente dicha, como por lo que respecta a su impacto directo sobre numerosos campos

interdisciplinarios relacionados con la síntesis industrial de nuevos productos, bioquímica, biología molecular, biotecnología, farmacología, medicina, ecología, industria farmacéutica, química clínica, etc.

Especial interés presenta la química de los *polímeros* y la *química supramolecular*, cuyo protagonismo se reflejará en la obtención de nuevos péptidos y proteínas, plásticos biodegradables (ya existe un interesante producto al respecto, denominado «Biopol», producido por I.C.I.), polímeros anticoagulantes de la sangre (fosfolípidos), polímeros sintéticos para uso dental (empastes y restauraciones, adhesivos, prótesis, elastómeros para impresiones) basados en el empleo de nuevas siliconas, polisulfuros poliéteres, polialquenoatos, resinas acrílicas, ionómeros, etc., hidrogeles (lentes de contacto suaves), biocerámicas avanzadas («biomateriales») para su empleo en toda clase de prótesis dentales, sustituciones óseas, cirugía de columna vertebral, relleno de cavidades óseas producidas por intervenciones quirúrgicas, cabezas de caderas artificiales, etc.

La química orgánica tendrá, además mucho que ver en relación con el desarrollo de:

- * *biosensores*, de aplicación típicamente interdisciplinar
- * síntesis de *enzimas*, *antibióticos* (tercera generación), *fármacos* y *drogas*.

Actualmente presenta gran interés el diseño de nuevos fármacos mediante síntesis programadas, donde la informática desempeña un papel fundamental. Especial interés presenta la obtención de fármacos que actúan sobre los «mensajeros químicos» (neurotransmisores, bloqueando, o reforzando su acción, lo que permite augurar aplicaciones espectaculares –científicas y aplicadas– en relación con la química del comportamiento humano (drogas psicotrópicas) y, en general, con la compleja química del cerebro, mecanismos de la memoria, de la visión, etc.

Se presta actualmente especial atención también al desarrollo de nuevos fármacos y drogas adecuados para combatir las enfermedades cardiovasculares (bloqueadores beta-adrenérgicos y de los canales de calcio, reductores del nivel de lípidos, etc.), el cáncer (tratamiento quimioterápico mediante drogas antitumorales), la alergia, artritis, reuma, etc. existiendo, igualmente gran interés por el desarrollo de drogas diuréticas, inmunosupresoras, etc.

Como ya se ha indicado anteriormente, el desarrollo de los polímeros conductores constituye actualmente otro de los campos de especial interés de investigación en química orgánica, susceptible de hallar numerosas y muy importantes aplicaciones industriales.

Sin pretender entrar a fondo en otras cuestiones, se puede asegurar que el protagonismo actual de la química orgánica es omnipresente en casi toda la actividad industrial del momento y así seguirá ocurriendo en el futuro. Como índice relativo de la importancia de la química orgánica se puede aducir que la sección de mayor amplitud en la revista índice "Chemical Abstracts" trata de cuestiones directa, o indirectamente relacionadas con la química orgánica, seguida por la química analítica.

3. Química física

Con independencia de que en la mayoría de los campos de investigación de otras áreas de la química aparecen, como norma, aspectos relacionados con la química física, mencionaremos a continuación algunos ejemplos ilustrativos de algunas cuestiones que presentan especial interés para la investigación en química física:

- * *Efectos del disolvente frente a la reactividad química*, cuestión de gran alcance, debido a la profusión de disolventes y materiales especiales de interés tecnológico actualmente utilizados.
- * *Fusión fría*: Se trata de una temática que alcanzó un inusitado e injustificado protagonismo en años muy recientes. Sin embargo, puede afirmarse que no constituye un tema definitivamente cerrado, resultando previsible, por el contrario, que resulte factible obtener resultados de interés científico en la continuación de este tipo de investigaciones, de las que pueden derivarse aplicaciones prácticas.
- * *Aplicación del análisis de fractales a sistemas químicos complejos*: La geometría de fractales constituye un desarrollo muy reciente de un lenguaje matemático aplicable para la descripción de sistemas, u objetos, de forma irregular. Previsiblemente, este tipo de análisis puede suministrar información difícil de conseguir por otros medios en relación con problemas relacionados con la catálisis y fenómenos cinéticos en sistemas heterogéneos, estado coloidal, localización electrónica en cristales, etc.
- * La *electroquímica*, así como la *fotoquímica*, constituyen campos de investigación de la química física especialmente prometedores por sus implicaciones tecnológicas, en relación—sobre todo— con la producción y almacenamiento de energía. Actualmente se trabaja intensamente en el diseño de *acumuladores avanzados*, con o sin electrolito líquido,

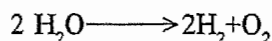
cuyo desarrollo está directamente relacionado con la producción de materiales avanzados. Igualmente, el perfeccionamiento de *células combustibles* de gases, basadas en la reacción entre el hidrógeno y oxígeno, utilizando membranas porosas cerámicas y catalizadores adecuados, constituye otro campo de investigación de máximo interés.

- * La producción electrolítica de metano, por reducción del CO_2 , constituye otro prometedor campo de investigación para la generación energética del futuro, cuyo desarrollo está igualmente directamente relacionado con el progreso de la catálisis.

4. Fotoquímica

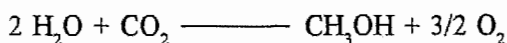
La transformación de la energía solar en energía química, o eléctrica, constituye uno de los temas de máxima actualidad en ciertas áreas de la investigación química como consecuencia del problema general que plantea la necesidad de disponer de nuevas fuentes de energía baratas y limpias (no contaminantes). Por otra parte, la obtención de combustibles, o de electricidad, a partir de materiales baratos y abundantes utilizando como fuente de energía la radiación solar, ultrabarata e inagotable, resulta muy tentadora para el químico habida cuenta de la «aparente» simplicidad de los procesos químicos, fotoquímicos y electroquímicos involucrados.

Especialmente investigada ha sido la reacción de fotoelectrolisis del agua



cuya realización práctica y la extrapolación del proceso a escala industrial resulta de difícil materialización debido a una serie de problemas, relacionados con la baja energía de la radiación solar visible, la transparencia del agua frente a dicho tipo de radiación, la necesidad de encontrar fotosensibilizadores adecuados (las porfirinas metálicas y los derivados del tris-bipiridilrutenio (II) han suministrado ya resultados prometedores), la insuficiencia de los rendimientos cuánticos alcanzables, etc.

Otras reacciones químicas que se presentan como prometedoras a los efectos considerados son:



Igualmente, en relación con las células fotogalvánicas o fotoelectroquímicas, su aparente simplicidad de funcionamiento teórico tropieza con muchos problemas pendientes de resolver, tales como la disponibilidad de materiales adecuados, problemas de corrosión y fotocorrosión, protección de superficies, empleo de disolventes no acuosos, disponibilidad de fotosensibilizadores adecuados, etc.

Estamos, en consecuencia, frente a nuevos e importantes desarrollos científicotecnológicos, ya iniciados, que requerirán el concurso de una gran actividad investigadora química en las próximas décadas, con el fin de conseguir que los prometedores resultados obtenidos hasta el presente culminen en desarrollos industriales eficaces.

5. *Química analítica*

La química analítica es el área de la química cuya finalidad la constituye la metrología química a través de su instrumento, el análisis químico. Se trata, por tanto, de una ciencia aplicada cuyo alcance se extiende no sólo a las diversas áreas de la química, sino prácticamente a muy numerosos campos de la inmensa mayoría de las ciencias experimentales (física, biología, geología, medicina, etc.).

La química analítica, aparte de su proyección sobre el progreso científico de las demás ciencias experimentales ha alcanzado actualmente una fundamental *dimensión* social, ya que su concurso resulta imprescindible en relación con las actuales problemáticas planteadas por:

- * la alimentación
- * la salud (humana y animal)
- * el aprovechamiento de recursos
- * el medio ambiente
- * la actividad industrial

actividades todas de ellas de máxima actualidad y trascendencia social.

Entre los factores evolutivos más significativos de la moderna química analítica cabe mencionar los siguientes:

- * *Actuación creciente fuera del laboratorio tradicional (control de procesos industriales, bioquímicos, ecológicos; implantación creciente de sensores; la detección remota, de especial interés en el estudio de la atmósfera y la exploración planetaria, etc.)*

- * *Desarrollo instrumental acelerado*
- * *Perfeccionamiento metrológico* (especialmente a través de la rápida introducción de metodologías quimiométricas)
- * *Interacción creciente con otras ciencias* (aplicación de la química analítica a la investigación biológica, bioquímica y a la bioingeniería).

La evolución de la química analítica en el último medio siglo se puede conceptualizar como auténticamente revolucionaria y, comparativamente con sus aspectos más clásicos, se caracteriza por una serie de tendencias bien definidas (menor manipulación química en el laboratorio; fisicalización y matematización crecientes a través de los desarrollos instrumentales y metrológicos; progresivamente más compleja, más especializada y más interdisciplinaria, etc.).

Ante la imposibilidad de tratar en detalle, dentro del marco del presente ensayo, la dinámica panorámica que presenta la actual química analítica, nos limitaremos a pasar revista, brevemente, a algunos de los vectores de especial impacto en los más significativos desarrollos de la química analítica actual y para un futuro próximo, resumidos en las siguientes tendencias más características que la misma presenta:

- * *Materiales de referencia y patrones certificados*: Como consecuencia del vertiginoso desarrollo instrumental y de la enorme variedad de tipos de muestras analíticas existentes, se hace obligada una disponibilidad creciente de este tipo de materiales, con el fin de calibrar los instrumentos (que en su inmensa mayoría suministran mediciones relativas), así como de tener en cuenta una de las inconsistencias típicas del análisis químico, cual es la naturaleza, o matriz, de cada muestra analítica particular. Además, el empleo de estos materiales resulta imprescindible para la normalización y validación de los métodos analíticos, realización de ensayos comparativos interlaboratorio, etc. Dada la importancia absolutamente fundamental de este tipo de materiales, denominados abreviadamente como CRM («Certified Reference Materials»), en los últimos años se ha operado una proliferación de centros e instituciones en numerosos países dedicados a su fabricación (LGC, BCR, NIST, LNE, NRC, NRCCRM, NIES, AOCS, NBS, BAS, CBNN, etc.), que van cubriendo paulatinamente las necesidades de patrones analíticos (primarios, o secundarios) que se necesitan para un gran número de cometidos específicos (análisis agrícola; análisis clínico; análisis medio-ambiental; química marina; análisis de vidrios, cerámicas, metales y aleaciones; determinación de parámetros físicos en ensayos de materiales; análisis de materiales biológicos, plantas, etc.).

El análisis químico actual no se concibe sin el empleo de CRM adecuados, que permiten elaborar métodos normalizados para cada aplicación específica, prestando especial atención al tipo de muestra (matriz) y a las características de funcionamiento del método particular (exactitud, precisión, etc.).

Otro aspecto importante y de reciente desarrollo en relación con los CRM lo constituye su protagonismo en la «acreditación de laboratorios», que implica la necesidad de ofrecer al cliente resultados de alta calidad y máxima garantía basados en razones de competitividad comercial, necesidad de cumplimentar normas de calidad para la producción industrial, requisitos para la exportación de productos, asesoramiento comercial, etc.

La acreditación de laboratorios corre a cargo de determinadas agencias estatales, o de instituciones privadas desinteresadas, que garantizan la calidad del trabajo analítico que se lleva a cabo en los laboratorios de análisis químico.

- * *Quimiometría analítica*, íntimamente ligada con la creciente y progresivamente más compleja instrumentación analítica, así como con las crecientes dificultades que plantea la metrología analítica. Se trata de un nuevo desarrollo, muy reciente, que implica la aplicación de la matemática aplicada (métodos estadísticos, teoría de la información, etc.), en conexión con la informática (computadores, procesadores de datos, etc.) para la discriminación de las señales analíticas obtenidas instrumentalmente (en forma gráfica, o mediante la memorización automática de datos) y su correspondiente procesamiento, que culmina en la obtención de resultados analíticos. Además, la quimiometría resulta actualmente imprescindible para la optimización de métodos analíticos, diseño de experimentos, reconocimiento de pautas («pattern recognition») en sistemas químicos que presentan muchas variables interdependientes, etc.

- * *Instrumentación analítica*. En las últimas décadas los instrumentos de aplicación al análisis químicos han experimentado un espectacular crecimiento, como consecuencia del apoyo económico que ha experimentado la investigación científica en todo el mundo, así como de la atención creciente que se ha prestado a la problemática ambiental, investigación biomédica, biotecnología y las necesidades del sector industrial farmacéutico, industrias químicas diversas, etc. Entre los

años 1982-87 el volumen del comercio mundial de la instrumentación analítica casi llegó a duplicarse, alcanzando en 1987 la cifra de unos 0,4 billones de pesetas. Las estadísticas indican que aproximadamente el 50 % de instrumentos fabricados incluyen toda una multitud de técnicas espectroscópicas, seguido por un 40 % de instrumentos relacionados con técnicas cromatográficas, lo que da una clara idea de la aplicabilidad general y versatilidad de ambos grupo de metodologías instrumentales. Entre las tendencias más definidas que presenta actualmente la instrumentación analítica, de la que existe un número enorme de desarrollo de aparatos diversos relacionados con métodos espectroscópicos, electroanalíticos, técnicas de separación diversas, etc., se cuenta la *hibridación instrumental*, de la que existen muchas alternativas que conjugan de dos a cuatro tipos de instrumentos y técnicas, generalmente unas de tipo separativo y otras de determinación cuali-cuantitativa, siendo las más frecuentemente utilizadas para estos fines las técnicas de CG, IR, FT, NMR, HPLC, EM, análisis térmico, etc., que hacen uso profuso de *interfases* de acoplamiento electrónico, asociado el conjunto con sistemas de *automatización* diversos (programación del funcionamiento del sistema y de *computerización* (sistemas impresores y de tratamiento de datos mediante ordenadores) adecuados.

Otras tendencias en los desarrollos instrumentales las constituyen la utilización de *analizadores discontinuos*, el empleo de *estaciones robotizadas*, la *miniaturización* de dispositivos (de toma de muestra, microsensores, microinstrumentos portátiles, etc.)

- * *Métodos de separación*. Se trata de una de las áreas que experimentan mayor dinamismo en su desarrollo, dada la complejidad creciente de las muestras analíticas sometidas a examen, en las que pueden hallarse presentes centenares de componentes de comportamiento físico-químico similar. Desde el punto de vista químico-analítico tradicional, estos métodos resultan especialmente atractivos, dado su elevado contenido químico intrínseco. Podemos hablar aquí de *química en la interfase*, ya que la inmensa mayoría de este tipos de métodos están basados en la transferencia de materia entre interfases de todo tipo, que incluyen todos los estados de agregación de la materia. El número de métodos de separación comúnmente utilizados es muy elevado (extracción, cambio iónico, cromatografía, ionoforéticos, etc., en sus múltiples variedades). Este tipo de métodos, asociados con otros tipos de métodos instrumentales se emplean hoy profusamente en relación

con el análisis de *elementos-traza* (ppb) y *ultratraza* (ppb, ppt) aplicados a la separación y determinación de toda clase de especies iónicas y moleculares en todo tipo de muestras (industriales, geológicas, biológicas, etc.), tanto de naturaleza orgánica, como inorgánica (nuevos materiales de gran pureza, etc.).

Los desarrollos futuros de las mismas se centran, fundamentalmente, en su aplicabilidad a muestras progresivamente más complejas, incremento progresivo de su escala de aplicación (ppb, ppt...), mejora de su selectividad, etc. (técnicas de preconcentración, de modo muy especial).

- * *Aplicación de nuevas reacciones*: En relación con determinados métodos instrumentales (espectroscopía de barrido rápido; sensores; métodos automatizados, etc.) resultan de especial interés las reacciones cinéticas, especialmente las de tipo enzimático y de catálisis inorgánica. La evolución de los métodos cinéticos de análisis, al igual que los métodos electroanalíticos ha sido especialmente notable en las últimas décadas, rescatándolos de una situación de olvido tan tradicional, como injustificada.
- * *Especiación química*: Existe un interés creciente por la determinación de las formas químicas en que se hallan presentes los elementos en determinados sistemas naturales. Estos estudios presentan especial interés en relación con la ecología y la toxicología, habida cuenta la muy diferente toxicidad que pueden presentar determinados elementos en función del tipo de compuesto químico en que se hallen presentes.
- * *Inmovilización química*: Constituye otro importante aspecto de la química analítica en la *interfase* y presenta muchas perspectivas de desarrollo futuro en relación con las técnicas de separación cromatográficas (empleo de fases ligadas), reactores (de material químico, o biológicamente activo), sensores (químicos, o bioquímicos) para los que se prevé un brillante futuro y que actualmente puede decirse que se hallan en una primera fase evolutiva, presentando su desarrollo «ideal» muchos problemas de tipo práctico, como consecuencia de la necesidad de satisfacer un gran número de requisitos.
- * *Sensores*: En líneas anteriores ya se ha tratado, repetidamente, de pasada el gran interés que presenta este tipo de dispositivos (químicos, o bioquímicos, cuyo adecuado y generalizado desarrollo puede conducir en un futuro previsible a la fabricación de los así denominados *instrumentos inteligentes*.
- * *Multideterminaciones analíticas*: Actualmente ya constituye una práctica frecuente la determinación (simultánea, o secuencial) de varios

analitos en una misma muestra, conjugando las posibilidades que ofrece la combinación automatizada de diversas técnicas de separación con métodos instrumentales adecuados.

La hibridación de técnicas instrumentales, asociada con el aprovechamiento de reacciones cinéticas adecuadas y la aplicación de la quimiometría constituyen tres puntales básicos para el progresivo desarrollo de este tipo de metodologías, que complementan a las de tipo de determinaciones multielementales.

Las anteriores consideraciones, que no constituyen sino un apretado esquema de algunos de los aspectos más actuales de las tendencias que exhibe el progreso de la metodología químico-analítica actual y de cara a un futuro inmediato, habida cuenta de la aplicabilidad general de la química analítica como ciencia aplicada de servicio a todas las demás ciencias y a todos los ámbitos de la actividad humana creemos que justifican el haber tratado con una extensión mayor este área de la química, que tiene mucho que ver con el progreso de la Ciencia, en general, y de la calidad de vida de la especie humana.

El *concepto* de la química analítica ha evolucionado de modo sorprendente en los últimos 50 años, no tanto por su finalidad, como por lo que se refiere a la extensión de sus horizontes, a su metodología y a su planteamiento operatorio. De modo creciente, la actividad analítica ha dejado de ser un cometido individual para transformarse en un trabajo (investigación, control, o producción) en *equipo*, interdisciplinar, coordinado e integrado, que implica una colaboración polifásica entre químicos, físicos, biólogos, veterinarios, farmacéuticos e ingenieros. Sin lugar a dudas, la *química analítica del futuro* (interdisciplinar, instrumental, automatizada, robotizada y computarizada) es ya una realidad.

6. Ingeniería química

A pesar de constituir el área de la química de más tardío desarrollo científico la esperanza de poder obtener, a escala social, todos los beneficios que depara el progreso de la investigación en las diversas áreas de la química, descansa sobre la producción industrial de un gran número de sustancias, en grandes cantidades y en condiciones económicas de explotación, en definitiva, sobre el progreso de la industria química, jalonada por éxitos históricos tan importantes como fueron en el S.XIX la obtención industrial de carbonato sódico (métodos LEBLANC y SOLVAY), la industria de los colorantes sintéticos

desarrollada en las últimas décadas del pasado siglo, las grandes síntesis históricas del S.XX, basadas inicialmente en el sistema aire-carbón-agua como materias primas (síntesis del amoníaco BOSCH HABER, 1913; gasolina sintética, BERGIUS, 1927; síntesis de hidrocarburos superiores, FISCHER-TROPSCH, 1925; síntesis del caucho sintético, ROELEN, 1925; química del acetileno, REPPE, 1925-40; polimerizaciones estereoespecíficas, ZIEGLER-NATTA, 1950, etc.), posteriormente en el petróleo natural (a partir de la Segunda Guerra Mundial), surgiendo así la impresionante «química de las olefinas», de máximo interés en la actualidad como materiales de síntesis polivalentes. La crisis del petróleo que tuvo lugar en el año 1973 obligó a reconsiderar nuevas alternativas de selección de materias primas para la obtención de combustibles, que condicionaron una vuelta parcial a los métodos de FISCHER-TROPSCH, así como el nacimiento de la biotecnología (p.e., obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos). Sin embargo, en tanto se mantengan los actuales condicionamiento económicos y de disponibilidad suficiente de petróleo, los desarrollos alternativos indicados —y otros muchos— permanecerán más o menos hibernados, a la espera de las coyunturas económico-sociales adecuadas.

La ingeniería química se enfocará en el próximo futuro en la producción de productos muy diversos, denominados de «Alta Tecnología», que implican la generalización del empleo de la informática y ordenadores en la industria química.

Las áreas de actuación prioritaria de la industria química del próximo futuro, ya iniciadas en muchos casos, se centran en los siguientes cometidos:

- * *Producción de energía y aprovechamiento de recursos naturales*, que implicará el empleo creciente de lignitos, pizarras bituminosas, gasificación «in situ» de carbones, explotación de recursos marinos, etc.
- * *Producción de nuevos materiales avanzados*, tales como cerámicas avanzadas, materiales ultrapuros, polímeros orgánicos e inorgánicos avanzados, etc., que ya han sido tratados anteriormente.
- * *Desarrollo de biotecnologías*, microbiológicas y enzimáticas, que permitirán llevar a cabo la obtención económica de etanol a partir de biomásas; productos farmacéuticos de difícil síntesis química recurriendo al concurso de microorganismos y de la ingeniería genética, técnicas de inmovilización de enzimas etc.; obtención de aminoácidos;

obtención de glucosas a partir de almidón; obtención de sustancias ópticamente activas; obtención de nucleótidos a partir de ácidos nucleicos, etc.

- * *Desarrollo de nuevos procesos de separación*, entre los cuales se pueden citar la utilización de zeolitas como adsorbentes y catalizadores, la extracción mediante fluidos supercríticos (de aplicación en la industria alimentaria, purificación de fracciones del petróleo, etc.), el desarrollo de nuevas técnicas de flotación (beneficio de minerales pobres, explotación de recursos hidrológicos la introducción de operaciones básicas que operan sobre principios que implican más de una fuerza impulsora (p.e., secado y filtración electroacústicos, cromatografía centrífuga, electromembranas, destilación centrífuga, etc.). Además, se espera un gran progreso en los métodos de separación por membranas, entre otras, de tipos cerámicos especiales, que ofrecen grandes perspectivas en importantes cometidos diversos (ultrafiltración, ósmosis inversa, desalinización de aguas, diálisis, electrodiálisis, electrofiltración, etc.).
- * Desarrollo de la *química fina*, asociada con la producción de productos químicos de alto valor añadido y de síntesis complicada, que están relacionadas con actividades de la Química Industrial que podríamos denominar «sector punta».
- * Adopción, en los procesos de producción de medidas encaminadas a la *protección del medio ambiente* y al incremento de la *seguridad* en la producción, manipulación y transporte de sustancias químicas y productos peligrosos.
- * La tecnología de producción de *combustibles sintéticos* («syn-fuels») presenta un especial interés potencial, supeditado su desarrollo a factores coyunturales (disponibilidad, o no, de recursos energéticos fósiles suficientes, según países; precio del petróleo; agotamiento progresivo del petróleo y del metano, etc.). Adicionalmente a la síntesis FISCHER-TROPSCH, basada en la síntesis de hidrocarburos a partir del gas de síntesis ($\text{CO} + \text{H}_2$), obtenido a partir de la gasificación del carbón, o por «reforming de vapor», a partir del metano, profusamente utilizada por Alemania durante la II Guerra Mundial, prácticamente abandonada a partir de la hegemonía del petróleo y actualmente readoptada en Africa del Sur, existe la posibilidad de obtener *metanol sintético* a partir del aludido «gas de síntesis», proceso nuevo basado en el empleo de zeolitas sintéticas como catalizadores, utilizando

sistemas reactores de lecho fijo, o de lecho fluidizado (más ventajoso). Variando el proceso de síntesis adecuadamente existen dos alternativas de producción:

- proceso MTG (proceso de metanol a gasolina)
 - proceso MTC (conversión del metanol en productos químicos diversos)
- * Otro campo de interesantes perspectivas de desarrollo lo constituye la *biohidro-metalurgia*, basada en la lixiviación bacteriana (por ejemplo, mediante la especie «*Thiobacillus ferrooxydans*») de minerales, especialmente de tipo sulfuro, que puede ser llevada a cabo «in situ», en terrenos, o en pilas. El mayor problema que presenta esta tecnología está relacionado con la lentitud del proceso global, cuya velocidad de extracción no permite aún que estas metodologías resulten competitivas. Se requiere un gran esfuerzo, de tipo interdisciplinario (Biología, Bioquímica, Genética, Ingeniería Genética e Ingeniería de Procesos) para conseguir llevar a cabo el desarrollo y aplicación de estos métodos.
- * La obtención de *combustibles* y *productos químicos* diversos a partir de la *biomasa* constituye otro prometedor desarrollo de la tecnología química del próximo futuro. Aproximadamente una tercera parte de la población mundial utiliza actualmente, de modo directo, la biomasa como combustible (quemado de madera, residuos de cosechas, estiércol, etc.). La conversión de la biomasa en combustibles más apropiados (biogás; etanol o «gasolina verde») puede complementar, incluso llegar a sustituir a los actuales recursos y aplicaciones de los combustibles fósiles. Mediante procesos de bioconversión (fermentación alcohólica, fermentación anaeróbica) y de tratamiento térmico (pirólisis, gasificación, licuación, esterificación, «cracking» catalítico) resulta posible obtener un gran número de sustancias útiles en gran cantidad (etanol y biogás, a través de la *bioconversión*; carbón, gas de síntesis, metanol, combustibles líquidos, aceite diesel vegetal, gasolina vegetal, queroseno, etc., a través de diferentes *tratamientos térmicos*).
- Para que tales potencialidades resulten factibles, se requiere –entre otras cosas un adecuado desarrollo de la ingeniería genética y del cultivo de tejidos, el desarrollo de procedimientos de inmovilización de células y enzimas adecuados para su aplicación a sistemas de

bioconversión en pequeña escala, así como el desarrollo de procedimientos termoquímicos eficaces para la obtención de combustibles a partir de la biomasa.

8. *Química y Biofísica*

La química es una ciencia interdisciplinaria, en creciente interacción con la física, por un lado y con la biología por el otro, que la sitúa en una especial posición en relación con la filosofía de la materia. Descendiendo a través de la física llega la química al ámbito de las partículas elementales donde el concepto trivial y macroscópico de la materia que nos rodea –sensible, o perceptible– se transforma en una entelequia metafísica, ya que a medida que intentamos analizar la materia yendo hacia lo más pequeño –desde el átomo al quark, de momento– la complejidad del problema no hace sino aumentar. Por el contrario, a través del camino ascendente de complejidad estructural creciente, llegamos a las supermoléculas y nos adentramos –a través de la bioquímica– en la química biológica, propia de los seres vivientes. Del punto de intersección de la química, con la física y con la biología arranca otra ciencia interdisciplinaria, la *biofísica*, cuyo aspecto fundamental lo constituye la aplicación de métodos e ideas de la química y de la física, con el fin de estudiar y comprender:

- * las *estructuras* de los organismos vivos.
- * los *mecanismos* de los procesos vitales.

A través del progreso de la biofísica nos aproximamos hacia una frontera, o interfase, que separa la materia inerte de la materia animada, es decir viva.

El enigma de la vida sigue siendo, hoy como ayer, una cuestión abierta que presenta máximo interés científico y filosófico, abordable desde tres posiciones, fundamentalmente:

- * *atelsmo* materialista-mecanicista (propugnado por DARWIN, MARX, NIETSCHE, etc., que postula, esencialmente, la posibilidad de aparición del fenómeno vital a partir de la materia inerte (abiogénesis), basada en razonamiento de azar, probabilidad, evolucionismo selectivo dentro de un marco de proyección no finalista.
- * *creacionismo* teológico, basado en la fe religiosa, que presupone un contexto intencional, o finalista (teleológico) emanado de un Ser

Superior, Creador, etc., es decir asumiendo que el «soplo vital», animador de la materia inerte, tiene un origen divino (Dios) de jerarquía, o categoría superior a la del mundo material. Por ejemplo, según TEILHARD DE CHARDIN, el proceso considerado «consiste en una evolución jerarquizante teleológica hacia lo sobrenatural», compatible con un evolucionismo selectivo mecanicista solo hasta llegar hasta una determinada barrera de complejidad.

- * *agnosticismo*, equivalente a un eclecticismo científico, que no debe ser confundido con el ateísmo. Esta actitud excluye la posibilidad para el hombre de poder conocer todo lo que va más allá de los fenómenos materiales, como consecuencia de la imposibilidad para el ser humano de poder acceder intelectualmente a todo conocimiento absoluto. En definitiva, el agnosticismo se refugia en los límites de la ciencia experimental, negándose a aceptar lo que no pueda ser demostrado, o refutado por el experimento, lo que implica la imposibilidad del conocimiento, o de la cognoscibilidad de todo lo indemostrable. En definitiva, la posición agnóstica no se pronuncia en ningún sentido por carecer de argumentos suficientes (científicos) para aceptar la fe, o el ateísmo, es decir, no es ateaísta, ni creacionista, sino que se mantiene a la expectativa de lo que depare el progreso científico racional.

El problema de la *origen de la vida* constituye, evidentemente, una cuestión plenamente abierta a la curiosidad y a la fantasía del científico, máxime cuando se han alcanzado los actuales éxitos importantes en los campos aludidos y disciplinas interrelacionadas (biología molecular, ingeniería genética, bioquímica) que nos aproximan a la biología celular de modo notorio y que nos sitúan ante la tentación de intentar, primero, comprender la esencia de la vida y, en segundo término, especular con la posibilidad materialista de conseguir crear vida, todo ello dentro del círculo vicioso establecido por la competencia entre materia-fe-razón, conflicto por otra parte aplicable no sólo al problema de la vida, sino a otros muchos absolutos (causas primeras, intuiciones trascendentes, dogmas y misterios religiosos, origen de universo, existencia del alma, finalidad de la existencia propia y de todo lo existe, etc.).

En consecuencia, lo que el científico se plantea es si el camino de la biofísica conduce de modo progresivo y sin saltos insuperables hacia la filosofía absoluta, que nos permitiría acceder al conocimiento de la *esencia de la vida*, para después poder crearla nosotros mismos, o bien, si existe una barrera infranqueable entre la materia inorgánica y viva, que implica rebasar una categoría superior a la científica, prescindiendo –por supuesto– de recurrir al empleo de explicaciones metafísicas del tipo de la «fuerza vital», o similar.

El nudo gordiano actualmente planteado, según se infiere de lo que va dicho, es susceptible de diversas interpretaciones, a tenor de cada posicionamiento científico individual. Hoy por hoy, sin embargo, no se atisba ningún síntoma de que una cuestión tan crucial, cual es la *esencia de la vida*, presente perspectivas próximas de hallar una solución satisfactoria, ni a través de una animación paulatina abiogénica de la materia inerte, ni a través de una explicación (comprensible) biogénica que contemple la «animación brusca», por intervención de un «soplo vital superior» de dicha materia. La posición más sencilla la sustentan, evidentemente, los agnósticos científicos, que se contentan precavidamente con la fórmula de «esperar y ver qué ocurre».

En opinión de G.M. SCHWAB, que define a la biofísica como la química-física de la célula viva, «nos falta mucho para llegar al lugar donde la biofísica limita con la Filosofía, es decir, para llegar al punto en que los efectos físicos sobre el organismo vivo nos puedan decir algo sobre la esencia de la vida».

En 1924 elaboró el científico ruso OPARIN una ingeniosa teoría abiogénicquímica que tuvo gran trascendencia y despertó el interés de la comunidad científica mundial, postulando la formación de una «sopa prebiótica» a partir de una atmósfera terrestre primigenia esencialmente reductora (hidrógeno, metano, amoníaco), a partir de la cual y por acción del tiempo, el azar y la probabilidad, conjugados con la intervención de catalizadores inorgánicos se produciría un evolucionismo químico creciente que abocaría en la aparición del fenómeno vital en los organismos más simples (alga azules, bacterias cianofíceas, etc.). En el desarrollo de tal teoría se recurre a la postulación de conceptos tales como los «coacervados», «protobiontes», etc., como eslabones intermedios en diversas fases de desarrollo del todo el proceso. Aunque se han realizado experimentos espectaculares y curiosos en esta línea, que puede relacionarse muy directamente con los éxitos alcanzados por los químicos y bioquímicos en décadas muy recientes en relación con la síntesis de péptidos y proteínas, queda un largo camino por recorrer –probablemente insalvable al final– para llegar a superar la enigmática barrera que delimita los ámbitos de la materia inanimada y de la materia viva. Se trata, en consecuencia de una cuestión hoy tan abierta como antes.

Constituye un hecho incontrovertible que, hasta el presente, no ha resultado posible realizar ninguna síntesis de materia viva por abiogénesis, lo que –de momento– descalifica el paradigma darwinista, de enfoque estocástico y antifinalista.

A la luz de los nuevos horizontes abiertos por la física relativista y por la mecánica cuántica se han elaborado nuevas teorías (FANTAPPIE, «Teoría Unitaria»; ARCIDIACONO, «Teoría Sintrópica», etc.) que dentro de un evolucionismo químico, bioquímico y biológico, consideran que la Vida es el

resultado de un proceso proyectado, programado y finalista (teleológico), que postula la aparición de la Vida como un fenómeno repentino —no gradual— impulsado, o determinado, por una acción de naturaleza teológica. En resumen, estas teorías excluyen la posibilidad de la abiogénesis y, en definitiva, de que el Hombre pueda llegar a tener la facultad de crear vida.

EPÍLOGO

De lo hasta aquí expuesto puede concluirse que el S.XX constituye un período científico-tecnológico auténticamente revolucionario, hablándose generalmente de las revoluciones «electrónica», «informática», etc., a las que hay que añadir también una segunda «revolución química», tanto científica, como tecnológica, que es continuación directa de la primera revolución química, de tipo científico, aureolada por el nombre de LAVOISIER.

Hemos tratado ya, con suficiente amplitud, de las tendencias y fronteras que caracterizan al estado actual de la química, que permiten augurar un esencial protagonismo y un brillante futuro a la química del S.XXI, aunque no resulta fácil predecir hasta dónde podrá llegar, habida cuenta del exponencial progreso realizado por la química en el último medio siglo, invadiendo por doquier otras áreas de la Ciencia, originalmente más o menos alejadas de la interfase con la química.

El papel de la química en el S.XXI dependerá fundamentalmente de la cantidad de nuevos conocimientos de que se disponga, así como de la capacidad del hombre para aplicarlos tecnológicamente. Sin embargo, el aprovechamiento de la química para el progreso futuro de la Humanidad estará condicionado, fundamentalmente, por una serie de factores de índole social de la Humanidad (acciones conjuntas para la explotación de los recursos naturales y protección del medio ambiente; solidaridad internacional en la explotación de recursos y redistribución de la riqueza; control racional de la explosión demográfica; pacificación política; lucha contra la desertización creciente; regulación racional del consumo de bienes limitados, tales como el agua y el petróleo; eliminación de la amenaza nuclear; desarrollo de nuevas fuentes de energía alternativas, no contaminantes; mejora de las comunicaciones y del transporte, etc.).

La historia demuestra que las previsiones adivinatorias unas veces se cumplen y otras no, cuando se pretende escudriñar el futuro. Merece la pena, a este respecto, actualizar el recuerdo del gran visionario que fue Julio VERNE, de todos conocido, desde nuestra más tierna infancia. También parece oportuno comentar brevemente la realidad y ficción subyacente en las previsiones para

el año 2000, que realizó en 1894 el gran químico que fue Marcelino BERTHELOT, en relación con el futuro de la química, que ya acusaba evidentes síntomas de progreso revolucionario.

La adecuada explotación de las potencialidades de la química, según BERTHELOT nos permitiría llegar al año 2.000 sin agricultura, sin explotaciones carboníferas mineras, sin aduanas, sin guerras y sin fronteras; la navegación aérea habría relegado prácticamente hasta la desaparición a los restantes medios convencionales de transporte; la igualdad humana sería un hecho a través de la implantación del más utópico de los socialismos en el supuesto de que la Humanidad fuera capaz de descubrir una «química espiritual» capaz de modificar la actitud ética de sus miembros de modo tan profundo como es el caso de la química en relación con la transformación de la materia natural. La energía solar y geotérmica, ambas inagotables, liberarían al hombre de su servidumbre tradicional al combustible fósil y garantizaría la disponibilidad de agua potable, barata y generalizada. La síntesis química acabaría con la actividad agrícola del hombre utilizando como materias primas el sistema carbón-aire-agua, que constituyó la columna dorsal de todas las grandes síntesis químicas hasta la Segunda Guerra Mundial. Tal desarrollo tecnológico influiría decisivamente en el perfeccionamiento ético de la Humanidad, al haberse eliminado problemas tales como la lucha por las materias primas, el sacrificio de animales y la sustitución de las actuales plantaciones agrícolas por cuidados bosques, parques y jardines, repletos de flores...

Ya para concluir, sin ánimos adivinatorios, me limitaré a trasladar las previsiones y anhelos de BERTHELOT al año 2.100 planteando al lector la pregunta: ¿Será posible, por mediación de la Ciencia, de la Tecnología y de la filantropía humana llegar para dicha fecha adonde aspiraba llegar BERTHELOT hace un siglo?...

Dirección del autor:

Prof. J. A. PÉREZ-BUSTAMANTE

Apartado 40

11510 PUERTO REAL (Cádiz)