

Índice

1. LA MENCIÓN DE CALIDAD EN PROGRAMAS DE DOCTORADO, UNA CONVOCATORIA INNOVADORA

X.Rius

2. NUEVOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS (EMERGENTES) EN EL MEDIO AMBIENTE

M.J. López de Alda, D. Barceló

3. POLÍMEROS DE IMPRESIÓN MOLECULAR EN QUÍMICA ANALÍTICA: ¿UNA MODA PASAJERA?

A.Martín-Esteban

4. SENSORES QUÍMICOS

E.Domínguez y A.Narváez

XIII Reunión de la SEQA junto al VIII ISAMEF

21-24 de octubre de 2003,
Universidade da Coruña

Para información:
<http://www.seqa.es>

1. LA MENCIÓN DE CALIDAD EN PROGRAMAS DE DOCTORADO, UNA CONVOCATORIA INNOVADORA

F. Xavier Rius

Universitat Rovira i Virgili

Responsable del programa de

Mención de Calidad. ANECA

El pasado 17 de Marzo se cerró el plazo de la convocatoria para la presentación de solicitudes para la obtención de la mención de Calidad en los programas de doctorado. Esta convocatoria ha suscitado un interés apreciable dado que, en total, se han presentado 921 solicitudes correspondientes a 53 Universidades. Los programas de Química Analítica se encuadran dentro de la macroárea de Ciencias Experimentales, en donde se han presentado 164 solicitudes.

La convocatoria significa, en primer lugar, que los programas se someten a una evaluación externa. Hemos de considerar que, en general, los estudios de doctorado raramente se han evaluado hasta la fecha. Por tanto, el hecho de someterse a la evaluación externa que lleva a cabo la ANECA, sin haber experimentado previamente un proceso de autoevaluación o de evaluación interna dentro de la propia Universidad, significa un salto importante.

La convocatoria tiene algunos aspectos comunes con el proceso de acreditación de laboratorios tan conocido en nuestro ámbito. En primer lugar, el proceso es voluntario. Si tenemos en cuenta que en España existen alrededor de 2500 programas de doctorado activos, una parte significativa de los que se iniciarán el próximo curso 2003-04 han asumido el reto.

Un segundo aspecto de la convocatoria consiste en que se hacen públicos unos criterios de calidad por los que se valorarán los programas. Posteriormente la ANECA ha publicado en su página web (www.aneca.es) los procedimientos detallados mediante los que se llevará a cabo el proceso de evaluación.

Los criterios se refieren a los dos grandes fines que se persiguen en los estudios de doctorado:

- La propuesta de programa. El conjunto de criterios más significativo (60% de la valoración global) se refiere a los aspectos docentes de los programas de doctorado: su articulación y coherencia, la adecuación del profesorado que interviene, la participación de otros grupos de la misma

o distintas instituciones, etc. Se valora como muy importante el hecho que los programas de doctorado tengan una coherencia y no sean sólo una suma de distintos contenidos acomodados a los profesores que intervienen.

- Los antecedentes del programa. Se pretende valorar aquí la capacidad de formar a buenos investigadores. Por tanto, una parte importante de los criterios (40%) se refiere a la capacidad de los grupos que sustentan el programa de doctorado para realizar investigación de calidad. Debe mostrarse que los grupos desarrollan investigación de alto nivel y que, en este marco, forman a futuros investigadores.

Todos estos criterios se evalúan por seis evaluadores que forman parte de los comités de evaluación. A cada comité le corresponde un gran campo científico (ciencias experimentales, ciencias sociales y jurídicas, ciencias de la salud, enseñanzas técnicas y humanidades) y evalúa los programas que corresponden a sus respectivas áreas de conocimiento. La composición de dichos comités también se encuentra en la página web mencionada anteriormente.

Como resultado del proceso de evaluación, los coordinadores de los programas presentados no sólo van a recibir información sobre la concesión o denegación de la Mención de Calidad sino que también van a recibir comentarios sobre la aplicación de cada uno de los criterios al programa de doctorado que coordinan. Este es un aspecto fundamental para la mejora del sistema. Teniendo en cuenta que los comités evalúan todos los programas presentados en su campo de conocimiento, la valoración semicuantitativa que también acompaña cada criterio (excelente, bueno, aceptable y deficiente) va a proporcionar a cada coordinador un punto de referencia en el ámbito de todos los programas de doctorado semejantes.

Finalmente, además del proceso de mejora ya mencionado, vale la pena hablar de las consecuencias que se esperan de este proceso de evaluación: i) un reconocimiento de aquellos programas de doctorado, que en su conjunto, muestren niveles de calidad elevados, ii) una información para aquellos alumnos interesados en cursar el doctorado. Este punto tiene especial relevancia para los alumnos de otros países que desean realizar el doctorado en España, iii) una financiación selectiva para aquellos programas que obtengan la Mención de Calidad: ayudas a la movilidad de alumnos y profesores. Además, este reconocimiento influye en la concesión de becaarios predoctorales por parte del MECED, iv) finalmente, se pretende estimular al sistema universitario. Se aspira a proporcionar una herramienta útil a las Universidades para que puedan discriminar dentro de su propio ámbito. Sería muy deseable que nuestras Universidades incentivaran la mejora de aquellos programas que poseen potencial y decididamente apoyaran a los programas de doctorado que muestren niveles de calidad elevados.

2. NUEVOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS (EMERGENTES) EN EL MEDIO AMBIENTE

María José López de Alda*, Damià Barceló

Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC (Barcelona)

**Correo electrónico: mlaqam@cid.csic.es*

El desarrollo tecnológico e industrial ha procurado a la humanidad prosperidad y bienestar, pero ha traído consigo un alarmante deterioro del medio ambiente. Tras casi un siglo de importantes avances y progreso, la salud de nuestro planeta, y la nuestra propia, se ven amenazadas. Durante décadas, toneladas de sustancias biológicamente activas, sintetizadas para su uso en la agricultura, la industria, la medicina, etc., fueron vertidas al medio ambiente sin reparar en las posibles consecuencias. Debido a la falta de métodos analíticos apropiados para identificar dichas sustancias, los subproductos de su fabricación y sus productos de degradación, y a la falta de métodos toxicológicos para determinar su actividad biológica y potencial efecto sobre los seres vivos, las consecuencias de su presencia en el medio ambiente pasaron, y en gran medida aún lo hacen, inadvertidas. El despertar de la conciencia científica y social sobre las posibles implicaciones de la presencia de contaminantes de origen antropogénico en el medio ambiente tuvo lugar a nivel mundial en 1932 con la publicación del libro *Silent Spring* o Primavera silenciosa [1]. En este libro, su autora, Raquel Carson, alertaba de la aparición de ciertas alteraciones en especies animales, como el adelgazamiento de los huevos de ave y su consecuente extinción masiva, alteraciones que atribuía a la exposición a compuestos químicos sintéticos como el DDT. Desde entonces, un gran número de sustancias han sido identificadas como peligrosas para la salud humana y/o medioambiental, y su empleo ha sido o bien prohibido o bien regulado a través de distintas legislaciones con el fin de reducir en lo posible la exposición a las mismas. Este es el caso de los llamados contaminantes prioritarios, entre los que se encuentran compuestos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los policlorobifenilos, los pesticidas, las dioxinas, etc., la lista de los cuales aumenta a medida que se tiene más información. Al margen de estos, sin embargo, existe un número, difícil de estimar, de contaminantes ambientales de los que hasta la fecha se sabe muy poco o nada. Estos contaminantes, denominados globalmente como emergentes, se definen como contaminantes previamente desconocidos o no reconocidos como tales, e incluyen productos de uso diario, tales como detergentes, fármacos, productos para el cuidado y la higiene personal, aditivos de gasolinas, plastificantes, etc.

Para tener una idea de lo limitado de nuestros conocimientos y del riesgo al que tanto el medio ambiente como los hombres estamos expuestos, basta pensar que, a nivel mundial, se sintetizan de forma rutinaria más de 60.000 especies químicas, y que cada año se añaden a esta lista entre 200 y 1000 nuevas especies, lo que sitúa el comercio de productos químicos a nivel

mundial en el segundo puesto, después del de los automóviles [2].

Los riesgos derivados de la contaminación química del medio ambiente, se clasifican en diversas categorías [3]:

riesgos ampliamente establecidos, como los asociados a los denominados contaminantes orgánicos persistentes (POPs) y contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos (PBTs) regulados en las distintas legislaciones,

riesgos crecientes e inesperados, asociados a contaminantes previamente conocidos pero considerados poco peligrosos, el riesgo de cuya presencia en el medio ambiente ha aumentado como consecuencia de su continuo y creciente uso,

riesgos escondidos, latentes, asociados a contaminantes, previamente conocidos o no, que no se consideraban como un riesgo, pero cuyos efectos, potencialmente negativos para el medio ambiente, están siendo en la actualidad descubiertos y reconocidos, como en el caso de los productos farmacéuticos y de cuidado personal (pharmaceuticals and personal care products, PPCPs)

riesgos emergentes, que no existían previamente pero que están empezando a surgir como consecuencia de la introducción de nuevas sustancias o nuevas aplicaciones de sustancias conocidas, y

riesgos futuros, no existentes en la actualidad, pero que se pueden anticipar o prever, como consecuencia de la aprobación de nuevas generaciones de compuestos o fármacos.

De todos los contaminantes orgánicos emergentes, los que probablemente suscitan más preocupación en la actualidad, son los antibióticos, debido a la posibilidad de que, como consecuencia de su uso extensivo, sobre todo en granjas y piscifactorías, se desarrollen cepas bacterianas resistentes que hagan que los antibióticos que normalmente se usan en medicina humana dejen de ser efectivos para el fin con el que fueron diseñados [4]. El consumo de fármacos en los países de la UE se cifra en toneladas por año, y muchos de los más usados, entre ellos los antibióticos, se emplean en cantidades similares a las de los pesticidas [5]. Además, muchos antibióticos, al igual que otros fármacos, no resultan completamente eliminados en las estaciones de depuración de agua, y una vez en el medio ambiente acuático pueden persistir, ya sea en las aguas, o, principalmente, en los sedimentos durante largos periodos de tiempo. Así, por ejemplo, la vida media del ácido clofibrato, el principal metabolito activo de los reguladores de lípidos en sangre clofibrato, erofibrato y teofibrato, es de 21 años.

También han sido objeto de especial preocupación y estudio en las dos últimas décadas los denominados compuestos disruptores endocrinos o EDCs. Los EDCs

son compuestos naturales o sintéticos que interfieren en el sistema endocrino (u hormonal) de hombres y animales y alteran su desarrollo, crecimiento, reproducción y comportamiento. Entre los efectos más alarmantes asociados, aunque no siempre de una forma totalmente concluyente, a la exposición a estos compuestos cabe mencionar fenómenos de feminización y hermafroditismo observados en peces, malformaciones en recién nacidos, desarrollo de cánceres de dependencia hormonal (próstata, ovarios...), y un aumento en la incidencia de infertilidad en humanos, ocasionada por una caída, próxima al 50% en el período 1940-1990, del conteo espermático en el hombre, y ligada a cuadros de endometriosis en mujeres.

Entre los compuestos identificados como EDCs cabe destacar los estrógenos sintéticos (usados en píldoras anticonceptivas y para el tratamiento de desórdenes hormonales tan frecuentes como la menopausia), los pesticidas, ftalatos, detergentes de tipo alquilfenol etoxilado, dioxinas, bifenilos policlorados (PCBs), y estrógenos naturales como los fitoestrógenos. De todos ellos, los más potentes son los estrógenos sintéticos. Sin embargo, el volumen de producción y uso de algunas de las otras familias de sustancias sirve para compensar su menor actividad estrogénica con unos niveles ambientales más altos. Este es el caso, por ejemplo, de los detergentes de tipo alquilfenol etoxilado, que juntamente con los estrógenos, fueron identificados en un estudio reciente llevado a cabo en Cataluña, como los responsables de la aparición simultánea de órganos reproductores masculinos y femeninos en peces [6].

No obstante, a medida que las técnicas de análisis avanzan y la sensibilidad y sofisticación de las mismas mejora, aumenta el número de compuestos que por su ubicuidad, persistencia y toxicología se consideran nocivos y peligrosos para el medio ambiente y el hombre. Los hasta ahora descubiertos representan una muy pequeña parte de los que con mayor probabilidad existen en el medio ambiente, y en este sentido el trabajo de los químicos analíticos y los expertos en medio ambiente, ha de ir dirigido a descubrir estos nuevos polucionantes ambientales, potencialmente peligrosos, en lo que se ha dado a menudo en llamar trabajo de "detective forense ambiental". Ésta, en combinación con otras acciones, como la alerta rápida, la aplicación del principio de precaución, y la puesta en marcha de programas de remediación y prevención de la polución, ayudarán a mejorar la salud de nuestro medio ambiente y a protegerlo frente a futuras amenazas.

Agradecimientos

María J. López de Alda agradece al Ministerio de Ciencia y Tecnología la concesión de su contrato Ramón y Cajal.

Referencias

- [1] R. Carson. "Primavera silenciosa". Editorial Crítica, Madrid, 2000.

- [2] http://www.refic.be/position/icca/pp_ic006.htm
- [3] C.G. Daughton, T.A. Ternes. "Emerging pollutants, and communicating the science of environmental chemistry and mass spectrometry: pharmaceuticals in the environment". *Environ. Health Perspectives* 107 (1999) 907.
- [4] S. Diaz-Cruz, M.J. López de Alda, D. Barceló. Environmental behaviour and analysis of veterinary and human drugs in soils, sediments and sludge. *TrAC-Trend. Anal. Chem.* (2003), in press.
- [5] O.A. Jones, N. Voulvoulis, J.N. Lester. Human Pharmaceuticals in the Aquatic Environment a Review. *Environ. Toxicol.* 22 (2001) 1383.
- [6] M. Petrovic, M. Solé, M.J. López de Alda, D. Barceló. "Endocrine disruptors in sewage treatment plants, receiving river waters, and sediments: integration of chemical analysis and biological effects on feral carp". *Environ. Toxicol. Chem.* 21 (2002) 2146.

3. POLÍMEROS DE IMPRESIÓN MOLECULAR EN QUÍMICA ANALÍTICA: ¿UNA MODA PASAJERA?

Antonio Martín-Esteban

*Institute for Reference Materials and Measurements. Joint Research Centre. European Commission. B-2440 Geel, Bélgica.
e-mail: Antonio.Martin-Esteban@irmm.jrc.be*

Hace ya algunos años se publicó el artículo titulado *Molecularly imprinted polymers: useful materials for analytical chemistry?* [1] donde los autores describían los distintos usos que hasta entonces se les había dado a los polímeros de impresión molecular en el campo de la Química Analítica. Ya entonces la respuesta a la pregunta indicada era claramente afirmativa pero quizás, hoy en día, nos deberíamos preguntar si los químicos analíticos hemos sido capaces de aprovechar todo el potencial que presentan dichos materiales.

Los polímeros de impresión molecular (MIPs) son materiales macroporosos con puntos de unión selectivos capaces de reconocer a una determinada molécula. La preparación de los mismos se basa en la formación de interacciones definidas (covalentes o no-covalentes) entre un determinado analito (compuesto plantilla) y monómeros funcionales durante el proceso de polimerización en presencia de un agente entrecruzante en un disolvente adecuado (generalmente apolar). Una vez obtenido el polímero, es posible extraer el compuesto plantilla quedando así huecos libres capaces de reconocer específicamente (o al menos de una forma altamente selectiva) al compuesto (analito) que estuvo implicado en la síntesis del polímero. En suma, dichos materiales son capaces de simular, en términos de afinidad y selectividad, a los anticuerpos y/o enzimas sintetizados por los sistemas biológicos, lo que les ha hecho ser bautizados con nombres como "anticuerpos de plástico" o "plastiencimas", pero con las grandes ventajas de ser mucho más estables (resistentes a pHs extremos, excelente comportamiento en disolven-

tes orgánicos), así como la sencillez, rapidez y bajo coste de su preparación.

Estas características han permitido la preparación de MIPs para una gran variedad de compuestos, cubriendo desde pesticidas, fármacos, drogas, compuestos quirales, azúcares, iones metálicos... hasta aminoácidos, péptidos, proteínas e incluso células completas; su empleo como sorbentes en procesos de extracción en fase sólida [2] o fases estacionarias en HPLC y CE [3], y como receptores en sensores o en ensayos similares a los inmunoensayos clásicos basados en anticuerpos [4], además de otros usos, un poco más alejados de la Química Analítica, como catalizadores [5], micro-reactores [6] y dosificadores [7]. Todo ello ha significado un espectacular aumento del número de artículos publicados basados en MIPs en los últimos años [8], demostrando el enorme interés que presentan y su capacidad para resolver problemas analíticos reales. Sin embargo, simultáneamente, las innovaciones en este campo, salvo en contadas excepciones, se han limitado a la síntesis y empleo de nuevos polímeros para diferentes analitos sin intentar mejorar las limitaciones de estos materiales que ya desde un principio fueron observadas. A modo de ejemplo, es sabido que el método de preparación clásico, basado en la polimerización en bloque, incluye procesos tediosos de trituración y tamizado donde se pierde un alto porcentaje de material teóricamente útil. Sin embargo, la mayoría de los MIPs propuestos en la literatura han sido sintetizados de acuerdo a ese procedimiento olvidando completamente otros métodos de síntesis disponibles que permiten la obtención directa de partículas esféricas, con una estrecha y controlada distribución de tamaños, las cuales, teóricamente, presentan mejores propiedades para ser empleadas como fases cromatográficas así como en el desarrollo de sensores. Por otro lado, aparte de influir en la forma y tamaño de las partículas obtenidas, es necesario mejorar las propiedades de los polímeros obtenidos incrementando la homogeneidad de los puntos de unión presentes en la matriz polimérica. Por todo ello, es de esperar que las investigaciones futuras vayan encaminadas a la búsqueda de nuevos métodos de síntesis más sencillos que permitan la obtención de MIPs de calidad a mayor escala resultando así más atractivos para la industria. Además, el desarrollo de nuevos formatos (fibras de microextracción en fase sólida, membranas...) permitirán ampliar el rango de aplicación de los MIPs.

Otro de los puntos débiles atribuido a los MIPs es la falta de reconocimiento molecular que presentan en medios acuosos haciendo necesaria, en muchos casos, la inclusión de una etapa previa de cambio de disolvente a la hora de analizar muestras acuosas como suero, orina, o aguas y por tanto esta será una línea de gran actividad investigadora en el futuro. Además, no ya solo el reconocimiento, sino también la síntesis en medio acuoso aparece como una importante área de investigación que permitirá la preparación de MIPs para moléculas de gran tamaño (biomoléculas), como proteínas y ácidos nucleicos, la cual ha estado en parte limitada

hasta la fecha. Por otro lado, cada vez son más los monómeros y entrecruzantes disponibles que teóricamente podrían mejorar las prestaciones de los MIPs. Por ello, la síntesis de mini-MIPs y el desarrollo de métodos rápidos de evaluación de los mismos así como el empleo de programas informáticos que puedan predecir los reactivos y las condiciones experimentales más apropiadas, con el fin de obtener el mejor polímero posible para una determinada aplicación, es un área de máximo interés.

Desde un punto de vista analítico, el empleo de MIPs en procesos de extracción en fase sólida acoplada en continuo a las técnicas cromatográficas, la preparación de columnas de HPLC y de capilares de CE selectivos para una determinada familia de compuestos, así como el desarrollo de sensores basados en MIPs cuyas características ópticas o electroquímicas cambien en presencia de un determinado analito son líneas de trabajo a desarrollar en los próximos años y aprovechar así todo el potencial que los MIPs pueden ofrecer.

De acuerdo con lo expuesto, no hay duda de que la mayoría de las líneas de investigación esperadas en los años venideros están más cerca de la Química Orgánica que de la Química Analítica pero sólo con una participación directa de los químicos analíticos será posible la obtención de materiales que presenten las características necesarias para la solución de problemas analíticos concretos. Solo de esta manera, los polímeros de impresión molecular no serán recordados como una moda pasajera sino que se convertirán en una herramienta realmente útil para los químicos analíticos en el futuro.

Referencias

- [1] Mayes, A.G. and Mosbach, K., Trends Anal. Chem., 16 (1997) 321-332.
- [2] Martín-Esteban, A., Fresenius' J. Anal. Chem., 370 (2001) 795-802.
- [3] Remcho, V.T. and Tan, Z.J., Anal. Chem., 71 (1999) 248A-255A.
- [4] Haupt, K., Chem. Commun., 2 (2003) 171-178.
- [5] Wulff, G., Chem. Rev., 102 (2002) 1-27.
- [6] Yu, Y., Ye, L., Haupt, K. and Mosbach, K., Angew. Chem. Int. Ed., 41 (2002) 4459-4462.
- [7] Alexander, C., Expert Opin. Emerging Drugs 6 (2001) 345-363.
- [8] Society for Molecular Imprinting (www.smi.tu-berlin.de)

4. SENSORES QUÍMICOS

Elena Domínguez y Arántzazu Narváez

Departamento de Química Analítica, Universidad de Alcalá.

Muchos de los hitos científicos que han catalizado el progreso científico de la Química Analítica no siempre han surgido al amparo de la misma, pero es innegable que han sido los químicos analíticos los que han sabido integrar la microelectrónica, los nuevos materiales, la

computación o la bioingeniería, por citar algunos ejemplos, para aportar nuevas estrategias y metodologías analíticas a una sociedad cada vez más exigente de una información química de calidad.

Esta demanda de información química merece a su vez valoraciones muy distintas que servirían para encuadrar dos estrategias bien diferenciadas en la Química Analítica. Por un lado, y conforme aumenta la complejidad de la información requerida, los desarrollos instrumentales y el propio proceso analítico exigen mayor grado de sofisticación. Sirvan de ejemplo: i) el "screening" de quimiotecas en la industria farmacéutica para la selección de potenciales principios activos, ii) la especiación de trazas y ultratrazas en muestras biológicas o medioambientales, iii) la detección ya no sólo de una molécula sino de las interacciones con su entorno [1]. Pero, igualmente, se requieren nuevas estrategias analíticas si las decisiones vinculadas a un problema analítico no cubren o justifican la inversión en el análisis. Sería impensable, por citar algunos ejemplos, que i) la determinación exacta de pH no pudiese ser rutinaria; ii) que la medida diaria de glucosa en sangre resultase prohibitiva entre la población diabética; o iii) que los índices globales, tan abundantes en la legislación medioambiental y de alimentos, se resolvieran con una información química sobredimensionada. La aproximación para la resolución de éstos y otros muchos problemas analíticos transcurre por la racionalización y adaptación de la metodología analítica ya existente pero también por el desarrollo y diseño de nueva instrumentación *ad hoc*.

Los sensores químicos no son más que un ejemplo del sinergismo científico inherente al desarrollo de la Química Analítica actual, pero son, quizás, uno de los mejores paradigmas para ilustrar la adecuación de un diseño instrumental específico a un problema analítico. Este hecho no parece enturbiar las inversiones y la rentabilidad de las seis empresas que han dominado el 70% de este mercado en el 2001. La demanda de sensores químicos está prevista que crezca en un 8,6% por año hasta alcanzar un volumen de negocio en EE.UU. de 3,4 billones de dólares para el 2006. Por tipos de sensores, son los biosensores, con un 64%, los que lideran esta demanda, sin duda en el ámbito del diagnóstico clínico, y seguidos por los electroquímicos con un 27,2% y por los ópticos con un 4,6% [2]. El aparente monopolio empresarial no parece tampoco que excluya la convivencia con numerosas PYMEs que con ideas genuinas presentan balances favorables, merced al desarrollo de sensores químicos para aplicaciones específicas.

Etimológicamente, el término sensor deriva del verbo latino *sentire*. Resulta así tentador el decir que la capacidad de apreciar o rechazar un gusto o un olor específico –apartémonos de las sensaciones no tangibles– no parece más que la primera y más perfecta de las ejemplificaciones de los sensores químicos. Y si nos permitimos mayores extrapolaciones y sistematizar uno de estos sentidos, el olfato, en terminología analítica, los pulmones representarían la bomba que introduce la muestra, las células epiteliales serían responsables del

(bio)reconocimiento molecular y el cerebro actuaría como microprocesador y almacén de datos. He aquí, quizás, la mejor adecuación de un “sistema de análisis total” para la ejecución de una función específica en los seres vivos. El sistema funciona automáticamente, responde en tiempo real, su consumo de energía es mínimo y es discriminante tras adecuado aprendizaje.

Del “sentir” en la Química Analítica

La IUPAC define un sensor químico como aquel dispositivo que transforma una información química en una señal analítica de utilidad. Definición ésta excesivamente genérica que sólo adquiere su sentido cuando se explicitan sus componentes inherentes. Efectivamente, los sensores químicos se caracterizan por integrar un receptor y un transductor que son responsables, respectivamente, del reconocimiento molecular y de la transformación de la interacción analito-receptor en una señal medible que debe ser procesada y registrada. Los biosensores, caracterizados por un receptor de origen biológico, no constituirían más que un tipo característico y muy importante de sensores químicos. El biosensor de glucosa utilizado diariamente por millones de diabéticos o los sensores de oxígeno gaseoso para la monitorización eficaz de la combustión de los coches son obvios ejemplos del impacto que los sensores químicos poseen en nuestra vida diaria. O lo que es decir, cómo un diseño instrumental y distintos principios científicos, la comunicación electroquímica de una enzima redox con una superficie transductora o la conductividad iónica en los electrolitos sólidos, respectivamente, se han adaptado específicamente a la resolución de medidas químicas.

Se trata, por tanto, de adaptar las técnicas instrumentales, los principios de transducción clásicos, a la resolución de problemas analíticos mediante la integración del (bio)reconocimiento molecular en dispositivos especialmente diseñados que per se sean simples y eficientes. Las tecnologías de fabricación emanadas de la microelectrónica garantizan su bajo coste y su miniaturización, no sólo para una menor inversión en reactivos, energía o residuos sino también para posibilitar mayor información por unidad de superficie y tiempo.

En definitiva, y tal como decíamos al principio, no se trata tan sólo de buscar nuevas aplicaciones y metodología a la instrumentación ya existente sino al desarrollo de una nueva instrumentación. Tradicionalmente, los químicos analíticos plantean muy diversas estrategias para la resolución de un problema analítico que frecuentemente están condicionadas por la infraestructura disponible. No sorprende, por tanto, que un ICP-MS pueda ser utilizado por un grupo de investigación para la identificación del origen de distintos vinos y que estos trabajos reciban su crédito científico y se traduzcan en publicaciones relevantes [3]. La pregunta sería si para conocer la existencia de un fraude o de una adulteración, y no sólo en los vinos, los químicos analíticos podemos vincular esta decisión a una infraestructura inasequible para muchos laboratorios. La respuesta es obvia frente a una alternativa consistente en un *array* de electrodos cuyas múltiples señales son debidamente

procesadas hasta derivar en grupos o *clusters* inequívocamente reconocibles [4]. Esta alternativa parece más coherente con la información inicialmente perseguida, independientemente de que, a *posteriori*, se pueda o deba requerir la identificación química o el ratio de concentraciones específicas que identifican químicamente a dichos *clusters*. Y no parece que lo que se ha venido a llamar sentidos electrónicos, encuentren su único nicho de aplicaciones en la clasificación de perfumes o vinos, pues la identificación de una muestra para la toma de decisiones puede transcurrir a través de “atributos” o de “parámetros” que no tienen necesariamente que estar vinculados al conocimiento exhaustivo de la composición química [5].

No por ello la identificación química, y por extensión el químico analítico, pierden su protagonismo, pues su verdadero alcance lo encontramos en la racionalización de su papel. Si nos parece impensable que para disfrutar de una ópera tuviésemos necesariamente que acudir a un teatro, no debiéramos sorprendernos de que la sociedad pueda emplear nuestras ideas y armonización de nuestros conocimientos para un mayor bienestar y seguridad de su consumo. Y creemos que es éste un nuevo, obviamente no único, protagonismo del químico analítico: el de promover y desarrollar nuevas ideas y concepciones instrumentales en nuestros laboratorios de investigación que vayan específicamente dirigidas a la utilización masiva por la sociedad. Si efectivamente aspiramos a una sociedad del conocimiento, no esperemos que ello transcurra necesariamente por la invasión de las aulas universitarias sino, más bien, por la global y adecuada utilización de dicho conocimiento por la sociedad. Si la disponibilidad de “El Anillo de los Nibelungos” de R. Wagner en DVD no ha disminuido la lista de espera para acudir al festival de Bayreuth, no debiéramos temer que nuestros laboratorios analíticos queden huérfanos de clientes. Es más, conforme las medidas químicas arraiguen masivamente en la sociedad —la música lo ha hecho— mayor será, a lo que pensamos, la aparición de nuevas vocaciones creadoras, porque mayor será la exigencia de una nueva información que sólo puede emanar tras una formación rigurosa y actual en Química Analítica.

Y no todo es Wagner; no se trata tan sólo de desarrollar sensores químicos exclusivamente basados en la mimetización de los sentidos humanos. Se trata, además, de que los químicos analíticos encuentren soluciones instrumentales plausibles para, por ejemplo, la evaluación del riesgo medioambiental de los vertidos o de la eficacia en la remediación, o para la detección de secuencias específicas de ADN, si es que la farmacogenómica ha de convertirse en una realidad para el diagnóstico y la terapia personalizada, o para establecer dispositivos de alarma que controlen procesos o situaciones prevenibles.

De los sensores químicos en la Química Analítica

Los sensores químicos están incluidos en todos los programas docentes de las asignaturas adscritas al área

de Química Analítica. Nadie cuestiona la impartición de los electrodos selectivos de iones y del electrodo de Clark como más claras evidencias de las técnicas potenciométricas y amperométricas, respectivamente. E igualmente se describen los lasers y las fibras ópticas como componentes instrumentales en espectroscopia óptica.

La pregunta sería entonces cómo estructurar estos contenidos y dónde incluirlos, habida cuenta de que no se cuestiona la necesidad de su impartición. Y no parece cuestionable si se tiene en cuenta que los sensores químicos, en su más amplio sentido, juegan un papel decisivo en la Química Analítica, si ésta ha de responder a:

- La necesidad de medidas en tiempo real
- La simplificación del proceso analítico
- La necesidad de controlar procesos de una manera eficiente
- La necesidad de medidas remotas en muestras de peligrosa o difícil accesibilidad
- La obtención de bancos de datos químicos en coordenadas de espacio y tiempo a bajo coste
- La necesidad de sistemas miniaturizados
- La obtención simultánea de información multiparamétrica

No sorprende, por tanto, que la parte VIII dedicada a la "Automatización, Miniaturización y Simplificación de Procesos Analíticos" de la 2ª edición del libro de texto "Química Analítica" de Kellner, Mermet, Otto, Valcárcel y Widmer como editores, incluya un capítulo dedicado a los sensores químicos.

Bajo esta perspectiva, el estudio de los sensores químicos es idóneo para: i) ilustrar las técnicas instrumentales, la transducción, y su utilización en la resolución de un problema analítico, ii) aplicar muy diversas estructuras químicas al servicio del (bio)reconocimiento molecular o de la selectividad, iii) desarrollar las técnicas de inmovilización y la química de superficies, iv) presentar las técnicas de fabricación, y v) para racionalizar el diseño instrumental a las propiedades analíticas requeridas. Independientemente de la sistemática que se emplee para el estudio de los sensores químicos y de las horas destinadas a su impartición, estos contenidos sólo se articulan bajo la necesidad de procesos de medida que eficientemente resuelvan problemas analíticos.

Por consiguiente, no es aventurado el decir que la investigación y el desarrollo de sensores químicos no sólo se mantendrá, en tanto siga habiendo problemas analíticos sin resolver en la sociedad, sino que irá en aumento conforme se vislumbren nuevas necesidades de medidas químicas que incidan en un mejor control y uso de nuestro entorno. En particular, los puntos clave para el desarrollo de los sensores químicos se han concretado en [6]:

1. Nuevos y mejores elementos de reconocimiento. Se incluye aquí la síntesis de nuevos receptores para el (bio)reconocimiento de iones y moléculas con mayor selectividad y estabilidad, nuevas interacciones analito-receptor y que óptimamente permitan una transducción

multidimensional. La utilización de dendrímeros, calixarenos, compuestos corona, ciclodextrinas, polímeros de huella dactilar (MIPs), anticuerpos catalíticos o aptámeros son tan sólo ejemplos del arsenal químico y bioquímico por explorar y explotar para su integración en (bio)sensores.

2. Nuevos mecanismos de inmovilización no sólo controlada y orientada sino que permita además la deposición de múltiples elementos de (bio)reconocimiento con resolución micrométrica.

3. Nuevos materiales poliméricos para el desarrollo de membranas que permitan la exclusión de interferencias.

4. Desarrollo de electrodos en estado sólido eliminando sistemas líquidos que limitan la operatividad y manufactura de los sensores electroquímicos.

5. Nuevos sustratos de transducción que permitan su manufactura a gran escala con garantía de calidad intra e inter-lote.

6. Mejora en el procesado de señales que permita discernir y cualificar múltiples señales conducentes a una información multiparamétrica, a la compensación de ruido o efectos de matriz, y a la mejora en la selectividad.

La ejecución de esta investigación exige el concurso de grupos multidisciplinarios con una clara vocación y decisión por la transferencia de tecnología. Estos hechos no parece que hayan acompañado el quehacer de la investigación de numerosos grupos de investigación sustentados mediante financiación pública. El cambio de actitudes no sólo debiera estar motivado por la creciente imposición de las entidades responsables de la financiación regional, nacional o europea, sino por la firme convicción de insertar nuestros desarrollos científicos y tecnológicos en la sociedad. El protagonismo de la Química Analítica en este proceso está garantizado siempre que los químicos analíticos canalicen y lideren estratégicamente sus esfuerzos en las aulas y en los laboratorios de investigación. En caso contrario, nos aventuramos a vaticinar que leeremos nuestra historia sin haberla escrito.

Referencias

- [1] National Science Foundation: Analytical Instrumentation for the Next Millennium [<http://www.emsl.pnl.gov:2080/docs/ainm>]
- [2] Freedonia Industry Study #1547, April 2002.
- [3] C.M. Almeida, M.T.S.D. Vasconcelos (2001). ICP-MS determination of strontium isotope ratio in wine in order to be used as a fingerprint of its regional origin. *J. Anal. At. Spectrom.*, 16 (6), 607–611.
- [4] A. Guadarrama, J.A. Fernández, M. Íñiguez, J. Souto, J.A. de Saja (2000). Array of conducting polymer sensors for the characterisation of wines. *Anal. Chim. Acta*, 411, 193–200.
- [5] G. Wöpel (1998). Chemical imaging: I. Concepts and visions for electronic and bioelectronic noses. *Sensors and Actuators B*, 52, 125–142.
- [6] D. Diamond (Ed.). Principles of Chemical and Biological Sensors. John Wiley & Sons, New York, 1998, pp. 8-10.

