



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

## **DEL ANÁLISIS Y LOS ANALISTAS**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

**ILMO. SR. D.**  
**LUIS FERMÍN CAPITÁN VALLVEY**

GRANADA, 2007



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

## **DEL ANÁLISIS Y LOS ANALISTAS**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

**ILMO. SR. D.**

**LUIS FERMÍN CAPITÁN VALLVEY**

GRANADA, 2007

**DEL ANÁLISIS Y  
LOS ANALISTAS**

## **DEL ANÁLISIS Y LOS ANALISTAS**

**LUIS FERMÍN CAPITÁN VALLVEY**

Excelentísimo Señor Presidente,  
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores Académicos,  
Señoras y Señores,

Es costumbre agradecer los honores que se hacen y este es el caso al proponerme como académico de la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada. Sin embargo, más que entrar en el juego de los merecimientos, que por cortos los tengo, confío en hacer una contribución positiva a esta Institución que me ha abierto sus brazos.

En el ínterin desde que se convocó esta plaza de académico, a finales de enero del pasado 2006, hasta su resolución en junio de ese año, ha ocurrido el fallecimiento de mi padre, Fermín Capitán García, catedrático

de esta vieja Universidad que nos acoge y académico fundador de esta Academia. Los que me conocen saben de mi aversión a la alabanza fácil, pero en este caso debo confesar mi deuda no solo de vida, sino de formación y de amor.

Mi padre tuvo para sí como el máximo honor el ser universitario con todos los diferentes significados y matices que la palabra alberga. Para sus hijos el serlo fue tan natural como respirar y ello incluía las muchas horas de trabajo, nunca llegaba a casa antes de las ocho y no era raro que fueran las nueve de la noche; los viajes para comisiones diversas o al Ministerio para pedir con qué trabajar; las muchas horas en su despacho en casa preparando lecciones, escribiendo artículos o simplemente estudiando, como era habitual después de cenar; las reuniones sociales o cenas en casa con amigos, también universitarios; recuerdo de niño a Enrique Gutiérrez Ríos, Ángel Hoyos, Luis Recalde, Rafael Gibert, José María Fontboté o Juan de Dios López González, entre otros muchos, que a mí me parecían gigantes y no solo por mi corta estatura; la situación económica siempre ajustada para poder llegar a fin de mes con dignidad y en ello fue

una maestra mi madre, verdadero armazón de la familia, como mi padre, quien la amaba sin dobleces, nos lo recordaba con frecuencia, sobre todo en sus últimos años.

Por alguna de esas inescrutables leyes del azar ajenas a nuestro afán de racionalizar, mi padre murió y de alguna manera debo ocupar el lugar que dejó en esta Academia. Acepto gustoso el encargo no sin dudas, repito, acerca de mis merecimientos.

Sin más preámbulos, debo iniciar el tema que he elegido para esta ocasión y que debe estar relacionado con la especialidad del académico. En el caso de quien les habla, esta es la Química Analítica, entendida como ciencia que pretende obtener información química acerca de la materia, en términos de qué átomos, agrupaciones atómicas, moleculares o macromoleculares se encuentran presentes y en qué proporción, cómo se encuentran distribuidas espacial y temporalmente y diversas cuestiones conexas. Esto es, la Química Analítica es una ciencia empírica natural cuyo objetivo principal es buscar el contenido verdadero de un componente químico en un sistema dado. Contenido verdadero que no puede ser establecido directamente mediante un experimento o una

instrumentación, que de alguna manera prolonga los sentidos humanos, por lo que esa verdad tiene una naturaleza estadística y solo tiene una probabilidad dada de serlo.

Así pues, la Química Analítica se podría definir de una manera amplia como una ciencia de la información que trata acerca de sistemas materiales con un contenido en información, tal como demostraron Karel Eckschlager y Hanns Malissa a finales de la década de los 60 del pasado siglo (1). Así, el análisis se puede considerar como el proceso de obtener información acerca de la composición química de un sistema que puede cambiar en el tiempo y en el espacio. Composición química que no es directamente accesible, por lo que la información se obtiene midiendo propiedades estrechamente relacionadas con el tipo y cantidad de compuesto presente.

En una primera etapa del proceso, la información concerniente a estas propiedades se origina y codifica en la señal analítica, que tendrá un contenido en información dada por su posición que incluye información acerca del tipo de analito, propiedad cualitativa, y una intensi-

dad que ofrece información sobre su cantidad, propiedad cuantitativa. En una segunda etapa, la señal se decodifica en el resultado, que expresa una información con un nivel de probabilidad dado, resultado que se obtendrá tras la digestión, filtrado y presentación de los valores obtenidos (2), (3).

La Química Analítica no ha sido ajena al proceso de diferenciación e integración ocurrido en las ciencias naturales durante todo el siglo XX. Diferenciación, como reflejo del movimiento del conocimiento desde lo abstracto a la erudición concreta, tanto por necesidades del desarrollo social como de las propias peculiaridades del desarrollo interno, volumen del conocimiento y carácter complejo del conocimiento científico, lo que ha llevado a la aparición de nuevas digamos subdisciplinas y si no, consideremos las diferencias entre análisis automático en química clínica, análisis de superficies o análisis atmosférico. Simultáneamente, el proceso de reconocimiento de causalidades comunes y la interconexión de diferentes praxis y objetivos ha llevado a la integración de disciplinas y en este caso concreto, debido además a la intrínseca naturaleza inter y multidisciplinaria de la materia (4), pu-

diendo ser un ejemplo la ingeniería biomédica, nanoingeniería, robótica analítica o el análisis químico de objetos espaciales. Diferenciación e integración que como parte de un proceso dialéctico general permiten el progreso científico (5).

La Química Analítica es hoy una ciencia informativa que ha ido ganando en amplitud de objetivos y recursos con el paso de los años y del desarrollo científico actual. Forma parte de lo que se ha venido en llamar *Big Science* a partir de la Segunda Guerra Mundial, caracterizada por el trabajo en grandes equipos de investigación frecuentemente multidisciplinares, financiados por agencias gubernamentales o internacionales y el uso de instrumentos e instalaciones de gran envergadura o, alternativamente, de instalaciones y equipos multicéntricos (6). Quizás un ejemplo paradigmático, por reciente y espectacular, sea el Proyecto Genoma Humano que en 2003 finalizó la secuenciación del ADN, esto es, el establecimiento del orden de los 3.000 millones de bases nitrogenadas, púricas o pirimidínicas, cuya posición determina la información genética contenida en los 24 cromosomas humanos (7). Ese gigantesco esfuerzo, incluyó un equipo

de 1.000 personas, unos 2.800 millones de euros de gasto y el empleo de una avanzada tecnología automatizada para lograr la secuenciación mediante el método de Sanger del ADN humano fragmentado, insertado en vectores, clonado y aislado y el posterior ordenamiento de los fragmentos analizados.

Esta forma de hacer ciencia se opone a la llamada *Little Science* llevada a cabo por investigadores individuales e independientes que pueden trabajar solos o con algunos alumnos en problemas de su propia elección (8). Forma de hacer ciencia que si bien no ha desaparecido - miremos a nuestro alrededor- tiende a transformarse bajo la presión de los poderes públicos, financiadores mayoritariamente, para lograr un mejor empleo de los siempre escasos recursos.

En la actualidad la percepción del papel de la Química Analítica por la sociedad se ha modificado, pasando de ser una ciencia abstracta y sin unos objetivos claros para el gran público, a una ciencia de la que se habla; recordemos series de televisión en las que el análisis químico es el que aporta la verdad “indiscutible” acerca de casos criminales, sin entrar, que sería objeto de

otro estudio, en los conceptos pseudocientíficos que habitualmente, a veces rozando el límite entre lo mágico y lo cómico, transmiten y que son reflejo de la opinión de ese público.

Por otra parte, la sociedad cada vez requiere una mayor cantidad de información química acerca de cuestiones progresivamente más dispares. Un ejemplo claro es la sensibilización del consumidor respecto a la seguridad alimentaria como consecuencia de pasadas crisis, así la encefalopatía espongiforme bovina llamada mal de las vacas locas o la presencia de dioxinas en piensos para pollos en Bélgica, que han obligado a un cambio en el concepto de seguridad alimentaria y a un desplazamiento de la importancia de los agentes que intervienen en la cadena alimentaria hacia la mesa del consumidor, de donde surge la necesidad de la trazabilidad de los alimentos. Trazabilidad entendida como la capacidad de rastrear un alimento desde su origen hasta el consumidor, dando lugar a una identificación fiable de sus ingredientes, un control sanitario y un seguimiento del alimento durante toda la cadena de producción. Concepto de trazabilidad que se apoya en diversos elementos, uno de los cuales es

el análisis químico. Se podrían poner muchos más ejemplos acerca de las exigencias actuales de información química que abarcan desde ejemplos triviales a cuestiones de mayor enjundia como terrorismo, tráfico de drogas u otros. Realmente no hay más que abrir cualquier día la prensa local o nacional para observar el considerable número de noticias que tienen detrás un laboratorio de análisis.

De forma general, la información que proporciona el análisis químico resulta ser básica para el funcionamiento del sistema social. Cumplirá funciones de diverso tipo: como es la caracterización de materias primas, lo que permite entre otras cosas dotarlas de precio; la verificación de características de materiales y bienes de consumo por parte de compradores, intermediarios y sistemas de inspección; la valoración del estado de salud de individuos a través del conocimiento de niveles en muestras biológicas, ayudando al correcto diagnóstico de enfermedades, contribuyendo a su pronóstico, facilitando su seguimiento clínico y asegurando la eficacia del tratamiento usado. Y así podríamos seguir señalando otros

campos donde el conocimiento de la composición química a cualquier nivel, es necesaria.

Toda esta información química –que deberíamos adjetivar como relevante a la vista de lo dicho- se obtiene mayoritariamente en un laboratorio, entendido como el lugar donde por medio de la experimentación se aplica un procedimiento analítico y se obtienen resultados en condiciones controladas y reproducibles. Para ello, ese laboratorio debe cumplir una serie de condiciones experimentales, instrumentales, ambientales y organizativas que aseguren unos resultados analíticos de calidad. La producción de esos datos de calidad, se logra a través del uso de medidas analíticas exactas, confiables y adecuadas para el objetivo propuesto mediante un sistema de calidad planificado y documentado. Por ello, un sistema analítico es definido como una cadena de información que va desde el conocimiento del material que se analiza hasta la interpretación de los resultados obtenidos.

Pues bien, hasta ahora les he estado señalando brevemente la forma habitual de obtener información química; esto es, recurriendo al especialista que, aplicando su metodología de trabajo en un lugar controlado, es

capaz de obtener información relevante sobre ella. Sin embargo, existen otras alternativas como es el empleo de los métodos rápidos de análisis. No es ésta la única denominación usada para este tipo de sistemas, pues también se les conoce como ensayos de campo, ensayos de bolsillo, ensayos preparados para usar o ensayos orientativos, entre otros muchos (9).

Los ensayos rápidos se pueden considerar como una combinación de herramientas analíticas simples, portátiles y baratas con procedimientos de análisis sencillos para la identificación o determinación de sustancias. Son de muy diverso tipo, realmente difíciles de clasificar, y se basan habitualmente en el empleo de reacciones, químicas, bioquímicas o inmunológicas, y procesos en condiciones que den lugar a un efecto observable visualmente –como puede ser desarrollo de color, longitud o radio de una zona coloreada, número de elementos que han reaccionado- o bien fácilmente medible (10) –por ejemplo, mediante colorimetría, espectrofotometría, reflectometría, fluorescencia o volumetría-.

Todos estos ensayos tienen en común el que se pueden llevar a cabo fuera de un laboratorio, en el lugar donde se precise esa información. No emplean las condiciones controladas del mismo; permiten llevar a cabo el análisis químico de forma rápida, simple y económica, sin necesidad de personal cualificado o ni siquiera entrenado, e incluso sin la toma y tratamiento de muestras y transporte de las mismas hasta el laboratorio de análisis y el empleo de una instrumentación más o menos compleja. Sus resultados no pueden tener la misma calidad que los que se obtienen en los laboratorios de análisis, aunque bien es cierto que los objetivos que persiguen no son los mismos. Aquí las razones de inmediatez, privacidad u oportunidad priman sobre las habituales de un análisis químico, especialmente en términos de exactitud o precisión.

Este tipo de análisis mediante ensayos rápidos se puede llevar a cabo principalmente de dos maneras: en disolución ó en fase sólida. El primero se basa en reacciones que se llevan a cabo en disolución, para lo cual el material a analizar -que debe estar en disolución o ser disuelto adecuadamente- se introduce en un pequeño

recipiente en el que se encuentra, o al que se añade posteriormente, un sólido que se disolverá o bien una disolución que contiene los reactivos necesarios para efectuar la prueba. El sistema así formado evoluciona de manera que, bien visualmente o bien mediante el uso de un instrumento convencional o diseñado *ad hoc*, permite obtener los resultados analíticos buscados (11). Existe todo un conjunto de casas comerciales (Merck, Chemetrics, Millipore o Hach, entre otras) que disponen tanto de reactivos como de los materiales e instrumentos necesarios, portátiles o de sobremesa, para la realización de estos ensayos rápidos. Como ejemplos conocidos podemos citar los kits Aquaquant<sup>®</sup>, Aquamerck<sup>®</sup> o Microquant<sup>®</sup> para el análisis de gran número de parámetros en agua, bebidas, suelos o alimentos.

Los sistemas de fase sólida, también llamados tiras reactivas, aunque también sensores de un solo uso – *one-shot sensors*–, sensores desechables o sensores de gota plana, se pueden considerar como dispositivos analíticos miniaturizados y autocontenidos que pueden ser utilizados, aunque no es necesario, en conjunción con una instrumentación portátil. De forma más precisa, po-

dremos decir que son formulaciones analíticas en las que todos los reactivos necesarios para hacer un análisis se encuentran presentes en estado sólido sobre o dentro de adsorbentes o películas dispuestas sobre láminas de material plástico y que en contacto con el problema a analizar desencadenan una serie de reacciones y procesos que permiten la estimación del analito presente (12), (13).

Los sensores desechables tratan de satisfacer las necesidades de información química, o, más precisamente, de información que se pueda obtener mediante análisis químico, a niveles próximos al gran público. De alguna manera pone en manos del público herramientas para obtener por sí mismos información química, lo que antes estaba reservado al especialista. Esto supone un aumento de accesibilidad de ese público a los dominios de la ciencia y la tecnología, al conocimiento y uso de lenguaje técnico, a las unidades de medida e incluso a nociones básicas de su fundamento. Así en cierta forma contribuye, junto con los medios de comunicación de masas y otros, a lo que se ha venido en llamar la democratización de la ciencia, entendida como la aplicación de los princi-

pios de la democracia constitucional (gobierno de la mayoría, igualdad de derechos políticos, participación política y libertad política) a la ciencia, especialmente en lo que se refiere a la necesidad de participación pública en los procesos de toma de decisiones en cuestiones que afectan a la ciencia. No estoy hablando de la forma en la cual ésta se hace, mediante el uso del método científico (observación sistemática, medidas, experimentación, formulación de hipótesis, comprobación, documentación, evaluación de resultados por expertos y publicación) sino de la ciencia en tanto en cuanto es un asunto con extensas implicaciones para la sociedad, por lo que se debe ahorrarse a los principios que la rigen (14), (15). Y si no, recordemos los debates acerca de las células madre, clonación o alimentos transgénicos.

Pero volvamos a nuestros sistemas rápidos de análisis. Aparentemente, no es necesario saber, no es necesario esperar, no es necesario recurrir a un especialista. En la intimidad de su casa una mujer puede saber si está embarazada, si el contenido en cloro o amonio cuaternario de su piscina está al nivel adecuado o si su nivel de glucosa en sangre es normal. Incluso se usan para otras

cuestiones más polémicas como podría ser el control paterno del consumo de drogas de abuso en jóvenes o del patrón sobre sus empleados.

Pero además de estas posibilidades de información en casa o a pie de cama por parte de usuarios no cualificados, hay muchas otras que pueden ser cubiertas por este tipo de dispositivos.

Este es el caso de laboratorios de rutina de análisis clínicos o investigaciones de campo por parte de geólogos, policía científica, unidades antiterroristas o servicios de vigilancia ambiental con diversos objetivos. Así por ejemplo, determinar de forma rápida valores de parámetros clínicos en orina y sangre, la denominada en este ámbito Química Seca (16), (17) y que cambió el concepto de laboratorio clínico al permitir utilizar el análisis rutinario de orina como discriminante del estado de salud de poblaciones mayoritariamente sanas. También se pueden usar en procedimientos de muestreo para seleccionar las muestras a tomar, desechando las que indiquen que la presencia del constituyente de interés se encuentra por debajo de una determinada concentración, de manera que se reduzca de forma

considerable el número de muestras a tomar y enviar al laboratorio.

Otros usos de interés se refieren a la monitorización de valores límite, más que el conocimiento exacto de las concentraciones, en control de procesos; o la determinación de componentes lábiles, tan habituales por otra parte en sistemas químicos en evolución, como pueden ser las aguas naturales, mediante análisis *in situ*, obviando todo el proceso de conservación de muestra. Incluso pueden servir para una primera estimación de niveles, en el establecimiento de estrategias de análisis en un problema dado o para cuestiones tan aparentemente nimias como la verificación de muestras en el laboratorio, como por ejemplo cuando se sospecha una confusión de las mismas.

Con este tipo de sistemas rápidos de análisis no se trata de evitar el empleo del laboratorio analítico bien establecido y que utiliza metodología certificada, sino que se establece un primer escalón en la obtención de información química, racionalizando de esta manera la utilización del laboratorio. Si a esto le sumamos la

reducción de costos, de tiempo necesario y de personal, podremos concluir que se trata de una alternativa analítica de interés.

Entre las limitaciones que tienen este tipo de ensayos rápidos podemos citar que suelen ofrecer en muchas ocasiones resultados de tipo cualitativo o semicuantitativo, lo que en ocasiones es justamente lo pretendido; que no suelen ser útiles para la determinación de trazas o ultratrazas, aunque hay excepciones como algunos inmunoensayos que son más sensibles que los correspondientes métodos cromatográficos de laboratorio. Por otra parte, suelen servir para un sólo parámetro, y tampoco permiten, usualmente, la especiación de iones metálicos.

Una cuestión quiero apuntar, aunque sea de forma muy breve; estos ensayos rápidos realizados fuera del laboratorio llevan implícita una transferencia de responsabilidad de la información que se obtiene desde el laboratorio analítico hacia el usuario. Cuestión discutible pero no menospreciable.

El concepto de tira reactiva encaja en la cultura del usar y tirar tan extendida hoy en día y que aparece en

EE.UU. a partir de la II Guerra Mundial por el desarrollo tecnológico que caracteriza la reconstrucción bélica. Se constata que la demanda de bienes de consumo no depende tanto de la capacidad de compra de los individuos como de su disposición a comprar. Las actitudes, optimistas o pesimistas, de consumo en un momento dado son las que cuentan, por encima incluso de la disponibilidad salarial (18), (19).

Al desarrollo de la productividad colaboran las nuevas tecnologías industriales junto con los medios de comunicación. Superado el umbral de la supervivencia, se trata de producir necesidades de masas, curiosamente disfrazadas de sutilezas individuales, prestigio social, carrera por la posición *-status-*, obsesión por la reputación *-standing-*, generándose así un nuevo estilo de vida.

Hay una acelerada producción de bienes de consumo y se generaliza la propaganda y venta de productos de usar y tirar, mercancías de un sólo empleo, que van desde manteles a maquinillas de afeitarse, envases no retornables, pañales o compresas higiénicas. La brevedad – valor de lo efímero- se convierte en el motor que retroa-

limenta el sistema. Todo producto lleva en sí mismo o potencia su propia muerte.

En este contexto, el desarrollo de dispositivos analíticos que no exigen el uso de un laboratorio, que no emplean en absoluto, o casi, reactivos en disolución, que no necesitan personal con conocimientos, que se pueden usar en cualquier sitio, que responden de forma prácticamente inmediata y que casi no generan residuos, es, evidentemente, bien acogido y aparece como un producto –¡ojo, antes el análisis era un servicio!- que encaja en los hábitos culturales.

Un aspecto sobre el que hay que reflexionar es el cómo se consigue que un dispositivo de este tipo origine una respuesta fiable. La Química Analítica obtiene información, decíamos antes, a través de la medida de propiedades que denominamos analíticas, esto es relacionadas unívocamente con los analitos de nuestro interés. La práctica inexistencia de dichas propiedades en la naturaleza obliga a aplicar un esquema de trabajo riguroso, al que denominamos proceso analítico y mediante el cual convertimos una propiedad inespecífica en otra que sí lo es.

Ahora bien, ¿cómo podemos obtener información química de forma directa, aparentemente sin aplicar las diferentes etapas del proceso analítico? Tal es lo que nos promete el empleo de sensores desechables y otros métodos de análisis rápido. La respuesta reside en el empleo de esquemas de reconocimiento muy ajustados al analito y extremadamente selectivos, junto con una combinación de diferentes operaciones analíticas, como son extracción, preconcentración o separación de interferentes, todo ello dispuesto de manera que se presente en un formato de tira reactiva y no precise de la intervención del operador. Naturalmente, estos dispositivos no serán válidos para el analito buscado en cualquier tipo de problema, sino para aquel que se ha diseñado; son sistemas que podemos llamar dedicados.

En estos dispositivos, el procedimiento operacional difiere del que se usa para los ensayos en disolución antes comentados, pues los reactivos se encuentran formando una o varias capas sobre un soporte sólido constituido por celulosa, fibra de vidrio o polímeros sintéticos varios. Para efectuar la prueba analítica, el sensor -tira reactiva- se pone en contacto con la disolución a analizar,

bien por inmersión o bien depositando un volumen pequeño y conocido de la misma sobre la zona activa del sensor. Al difundir el problema en la zona de reacción, disuelve los reactivos y provoca la reacción o, lo que es muy habitual, desencadena un conjunto de reacciones que originan el desarrollo de una propiedad, así una coloración sobre la propia tira, que permite la estimación de la cantidad de analito presente.

Dicha estimación se puede llevar a cabo visualmente usando una carta de colores, estimación disyuntiva o bien semicuantitativa, o de forma alternativa mediante un pequeño instrumento especialmente diseñado para ello y con el que se mide alguna propiedad, óptica, eléctrica u otra, sobre el propio dispositivo, bien en equilibrio o de forma cinética.

Como vemos, se han integrado en un elemento unitario los reactivos necesarios y los procesos precisos para hacer posible la realización de un determinado ensayo, de forma que no sea necesario preparar, dispensar y mezclar los reactivos precisos, ni realizar operaciones de reacción, separación u otras.

Comparados con los métodos que podríamos llamar convencionales, estos presentan una serie de ventajas, entre las que destacan: 1) sencillez de uso, lo que permite su uso incluso por personas sin formación específica en análisis; 2) inmediatez por su corto tiempo de análisis; 3) robustez; 4) facilidad de lectura de resultados; 5) coste bajo o moderado; 6) no exige reactivos en disolución ni disolventes; 7) no hay problema, por tanto, de residuos, salvo el propio sensor, enlazando de esta manera con lo que se ha venido en denominar la Química Analítica verde o limpia y que pretende reducir o eliminar los efectos laterales contaminantes de los métodos analíticos (20).

Encontramos dos tipos diferentes de tiras reactivas, las basadas en la observación visual y las que realizan una medida instrumental. Las primeras son herederas de la tradición en Química Analítica de los papeles reactivos, el más conocido de los cuales es el papel de pH en sus diversas variantes (tornasol/universal/décimas). El origen de estos ensayos se encuentra en el papel reactivo, esto es, tiras de papel de filtro impregnadas con reactivos, que se han usado en Química Analítica desde hace

mucho tiempo para la detección de iones inorgánicos, sustancias orgánicas y sobre todo estimación de pH. Recordemos que Prout introdujo el uso del papel de tornasol para el ensayo de alcalinidad en orina en 1817. Un hito en el uso de tiras reactivas fue la aparición, en la década de los 50 del pasado siglo, del denominado Clinistix por la empresa Ames para el ensayo de glucosa urinaria, siendo la química clínica el campo en el que han experimentado mayor desarrollo. Así se ha usado para monitorizar numerosas funciones fisiológicas (21), (21) simplemente mojando la tira reactiva en una muestra de fluido corporal, tal como orina o sangre, y observando la respuesta originada, debido a su relativamente bajo coste, facilidad de uso y rapidez en dar el resultado.

Estas tiras pretenden clasificar la muestra atendiendo a un parámetro de interés en algún subgrupo de concentraciones. Es una técnica de comparación y emparejamiento de colores y se utiliza siguiendo unas reglas de uso definidas con precisión. De esta manera se obtiene una información que se suele denominar semicuantitativa, basada en la capacidad de discriminación entre colores del ojo humano. Así, glucosa o proteínas en suero o

dureza o nitratos en agua. Alternativamente, pueden ser de tipo disyuntivo (si/no) según se supere un determinado valor de concentración, a veces un límite legal. Están diseñados para que sea perceptible por encima de ese nivel, así gonadotrofina coriónica humana en un test de embarazo.

Las basadas en una medida instrumental utilizan una medida cuantitativa que suministra una información más fiable y precisa que la simple distribución en categorías. Las medidas más utilizadas, aunque no las únicas, son las eléctricas y las ópticas. Dentro de las eléctricas, las tiras desechables amperométricas son las de mayor uso, aunque otras, como las potenciométricas, son también de interés. Entre las tiras reactivas ópticas, las más usadas son las que se basan en medidas de reflectancia difusa aunque también en espectrofotometría, fluorescencia, tanto directa como usando campo evanescente y, más raramente, otras como quimioluminiscencia.

En este tipo de sistemas analíticos, a diferencia de los procedimientos analíticos convencionales, no se trata de poner a punto un procedimiento, sino de preparar el sistema en su conjunto para su uso por el cliente. La di-

mension comercial y económica de este tipo de procedimientos rápidos es mayor que en otras técnicas y procedimientos; y buena prueba de ello, es el habitual empleo aquí de patentes y modelos de utilidad como forma de publicación y protección de resultados.

Es muy frecuente que sean desarrollados directamente por empresas, ya que las propiedades y características que deben mostrar, no sólo analíticas sino de estabilidad, robustez mecánica, precio, etc., hacen que sea necesaria una tecnología media/alta para compatibilizar prestaciones y precio. Con todo ello, supone una oportunidad de negocio para muchas empresas por el volumen de potenciales clientes que existen y de hecho en la actualidad es un próspero campo de actividad para muchas empresas como Merck, Bayer, Roche Diagnostics, Eastman Kodak, Macherey-Nagel, Kyoritsu, Hach, LaMotte Company o Industrial Test Systems, entre otras.

Como ejemplo, consideremos el mercado de tiras reactivas para glucosa en sangre en EE.UU., donde la American Diabetes Association estima que hay 20,8 millones de niños y adultos con diabetes –aproximadamente un 7% de la población (22). De ellos, entre un 5% y un

10% sufren diabetes tipo 1, mientras que el resto puede ser de tipo 2. Un paciente típico con diabetes de tipo 1 se controla la glucosa de tres a cuatro veces al día como mínimo y aún considerando que el precio de las tiras para glucosa es variable (de 30-40 \$/50 unidades a 60-75 \$/100 unidades) eso supone un gasto anual de entre 1100 y 1150 \$. Por su parte, un paciente con diabetes tipo 2 se controla una o dos veces al día, lo que supone un gasto anual entre 270 y 600 \$. Esto justifica que el mercado llamado de SMGB (*Self-Monitoring of Blood Glucose*) sólo en EE.UU. mueva anualmente varios billones americanos de dólares (23).

El desarrollo de sistemas sensores de tipo desechable resulta un campo extremadamente imaginativo; no se trata de aplicar una metódica sistemática que usa unos recursos con amplitud de medios, sino de resolver un problema muy concreto, puntual, mediante un juego de procesos encadenados espacial y temporalmente y que se encuentran confinados en una pequeña superficie. Todos los problemas e interferencias de ese análisis tienen que estar previstos y resueltos. En consecuencia, los procesos de reconocimiento en que se basan son extraordi-

nariamente variados y en ocasiones tan solo válidos para esa concreta situación y sin valor general.

Con esta advertencia, quiero recorrer brevemente algunas de las estrategias de reconocimiento y transducción que se han usado para lograr la respuesta. El empleo de propiedades intrínsecas de los analitos, esto es, no generadas, es posible siempre que se puedan resolver las interferencias que presenten especies concomitantes. No es un sistema muy utilizado y se suele complementar con procesos de preconcentración. Un ejemplo puede ser la determinación de plaguicidas como morestan mediante preconcentración en membranas de PVC plastificado y medida de su fosforescencia intrínseca (24) o la de plata en baños fotográficos mediante voltametría en un electrodo serigrafado (25).

Sin embargo, lo más habitual es el uso de propiedades extrínsecas, esto es, generadas por interacción del analito con los reactivos física o químicamente unidos dentro de la capa sensora o directamente inmovilizados sobre su superficie. Reacciones que pueden ser de muy diverso tipo que va desde reacciones redox, a reacciones orgánicas, de complejación, de precipitación, de tipo

huésped-anfitrión, enzimáticas, inmunológicas o con ADN.

Quiero tratar primero en un único grupo los sistemas visuales y los ópticos, pues comparten el que mediante una reacción con los reactivos presentes en el elemento analítico se produce un cambio de propiedades ópticas que aprovecharemos. Aquí nos encontramos dos grandes grupos de sensores desechables: los monocapa y los multicapa. Los primeros presentan una membrana constituida por una única capa que puede ser homogénea o heterogénea.

Los sistemas homogéneos son los más simples y antiguos. La distribución homogénea de sus componentes se logra mediante un proceso de impregnación del soporte adsorbente, son los llamados sistemas de fibra impregnada, aunque se pueden preparar también por fabricación de una película polimérica que contenga los reactivos sobre un soporte no adsorbente, las llamadas películas reactivas (17).

Los sistemas de fibra impregnada son los más antiguos y han sido los más utilizados para la preparación de tiras reactivas comerciales, incluso hoy en día. En ge-

neral, consisten en una lámina de celulosa porosa o semipermeable que contiene los reactivos distribuidos de forma homogénea o superficial (26). Su amplio uso se justifica por su bajo costo, facilidad de uso y buena reactividad de las fibras de celulosa, aunque presentan problemas derivados de la falta de uniformidad del papel que conduce a resultados sólo semicuantitativos y a su inestabilidad frente a ácidos, bases y oxidantes. Gran número de las tiras reactivas que podemos comprar en el mercado para análisis de agua, acuicultura, agricultura o alimentación utilizan soportes celulósicos o similares

En un principio, el uso del sistema de monocapa homogénea basados en películas poliméricas es más versátil que los de fibra impregnada, aunque también está restringido a ensayos específicos relativamente simples. Sin embargo, se han desarrollado diferentes alternativas para resolver problemas concretos. Veamos algunos ejemplos. En ocasiones es necesario que existan zonas hidrofílicas e hidrofóbicas en la membrana por exigencia de la propia reacción de reconocimiento, este es el caso de la determinación de potasio en suero basada en su reacción con el ionóforo valinomicina y transducción fluo-

rescente por intercambio iónico con un indicador ácido-base. Para ello, se ha utilizado agarosa como matriz hidrofílica que incorpora una emulsión de un líquido hidrofóbico como es el nitrofeniloctileter que contiene el ionóforo y el indicador ácido base lipofilizado y que permite el intercambio iónico. Por su parte, el tampón necesario para ajustar el pH del problema se sitúa en la matriz hidrofílica (27).

Un sistema como el que acabo de presentar funciona, pero tiene diversos problemas como es un tiempo de reacción relativamente alto y controlado por la transferencia de materia –potasio- entre ambas fases. Se han utilizado membranas porosas conteniendo los denominados abridores de membrana, que son partículas sólidas no reactivas y de pequeño tamaño, que pueden ser inorgánicas u orgánicas, así  $\text{TiO}_2$  o celulosa, dispersas en la matriz hidrofóbica. Continuando con el ejemplo anterior, se ha sugerido el empleo de tierra de diatomeas como abridor de membrana impregnando sucesivamente con una disolución de los componentes hidrofóbicos (ionóforo, indicador de pH lipofilizado, plastificante) y de los hidrofílicos (tampón y otros), reduciendo de manera sig-

nificativa el tiempo de reacción a menos de 2 minutos (27).

Otro típico problema de los sistemas monocapa es la necesaria separación de constituyentes de alto peso molecular, pues la presencia de macromoléculas y especialmente de células y materia particulada impide la determinación directa de analitos en fluidos biológicos. Un ejemplo característico es la interferencia causada por la presencia de eritrocitos o hemoglobina libre en la determinación de analitos como glucosa, ácido úrico o enzimas en sangre total.

Se han desarrollado diversos sistemas que permiten la determinación directa sin necesidad de la habitual separación previa de interferentes mediante filtración, centrifugación o reacción química. Uno de ellos, es el empleo de membranas poliméricas asimétricas; esto es, con un gradiente de densidad de una superficie a otra. La preparación de membranas con un alto grado de anisotropía, alta relación entre los diámetros medio de poro entre ambas superficies, hace que la superficie receptora de la muestra sea relativamente densa, evitando así la penetración de células, partículas o macromoléculas. Con

este objetivo se han usado ésteres mixtos de nitrato y acetato de celulosa con reactivos incorporados (28), (29). La difusión de la fracción fluida de la muestra biológica hacia la cara opuesta se facilita y ajusta mediante el empleo de sustancias humectantes como polietilenglicol o polivinilpirrolidona. La reacción del analito con los reactivos, también distribuidos anisotrópicamente, en la zona próxima a la cara más porosa va a permitir medir la propiedad óptica, habitualmente reflectancia difusa en la cara opuesta a la de aplicación de la muestra. Como ejemplo, podemos citar los sensores desechables para glucosa o urea en sangre mediante las conocidas reacciones enzimáticas con glucosa oxidasa y ureasa, respectivamente.

En otras ocasiones el problema es diferente, esto ocurre cuando algún reactivo no es estable o bien hay reactivos mutuamente incompatibles, por lo que reaccionan entre sí. Este problema es habitual y como consecuencia se reduce, y a veces de forma drástica, el tiempo de vida de estos sensores desechables. La solución pasa por compartimentalizar la membrana de forma que se segreguen los reactivos cuando sea necesario. Así una de las formas de determinar sangre oculta en heces se basa

en la catálisis por la hemoglobina de la reducción de hidroperóxidos que se pone de manifiesto por la oxidación de indicadores redox tipo tolidina. La inestabilidad química de este sensor se puede reducir microencapsulando los hidroperóxidos en polímeros tipo carboxivinilo que liberaran el reactivo en presencia del problema (30).

El formato monocapa presenta diversas ventajas, principalmente de manufacturación, sin embargo no resuelve de manera eficiente todo tipo de problemas ni se puede aplicar a cualquier conjunto de reacciones y procesos. Por ello, surge una siguiente generación de sensores desechables: los sistemas multicapa.

Estos sistemas pretenden segregar las funciones individuales del elemento analítico en capas discretas. Estas capas de diferente naturaleza son recorridas verticalmente por la muestra produciendo un conjunto de operaciones analíticas de distinto tipo, tales como disolución, filtración, diálisis o extracción, junto con reacciones químicas diversas: neutralización, complejación, redox, precipitación, reacciones estereoespecíficas u otras, y todo ello integrado en una película cuyo espesor puede ser inferior a 100  $\mu\text{m}$  (31).

La preparación de estos dispositivos definitivamente no es sencilla, hacen falta materiales de pureza y características apropiadas -papel, fibras sintéticas, materiales porosos no fibrosos, polímeros para fabricar películas- y procedimientos para la deposición de capas de materiales y reactivos de manera reproducible y espesor controlado. Las técnicas de la industria fotográfica se han usado con éxito en este campo (32), pensemos en qué se diferencia una fotografía instantánea de una tira reactiva para metabolitos en sangre que mide por reflectancia difusa.

El número de capas puede variar dependiendo del problema a resolver, del analito y la matriz, de las reacciones químicas usadas y del sistema de medida. Generalmente, el conjunto de capas está preparado sobre un soporte que consiste en un material plástico delgado y rígido, bien transparente o reflectante.

De manera general, estos sensores desechables multicapa tienen al menos tres capas funcionales discretas: capa de difusión, capa de reactivos y capa de medida. La muestra se sitúa sobre la capa de difusión, de donde se mueve a la capa de reactivos que contiene los produc-

tos químicos necesarios para la reacción con el analito. Si el analito se encuentra presente, por encima de una concentración mínima, se forma o se libera una especie indicadora que difunde a la capa de medida, donde es observada o medida (33).

La capa de difusión pretende absorber y distribuir el componente a analizar de la muestra líquida aplicada sobre el sensor, de manera que origine una concentración uniforme de analito en la superficie de la capa de reactivos en contacto con ella. Generalmente esta capa es isotrópicamente porosa y la difusión de la muestra se debe a una combinación de diversos factores: presión hidrostática de la muestra líquida, capilaridad dentro de la capa de difusión, tensión superficial de la muestra y acción adsorbente de las capas inferiores en contacto fluido con esta capa de difusión. Una permeabilidad uniforme es aquí necesaria, pues evita la aparición de gradientes de concentración en la capa de reactivo que da lugar a errores (34), (35).

La capa de reactivos es la más compleja, puede consistir en una simple capa o bien en un conjunto de capas consecutivas separadas por capas auxiliares. Aun-

que pueden estar fabricadas con diferentes materiales, lo más habitual son polímeros sintéticos o bien papel. Como ejemplo podemos señalar la determinación de urea en sangre que se hace mediante un sistema de dos capas, una primera porosa que contiene ureasa y un tampón separado mediante una membrana semipermeable que permite la difusión del amoníaco generado a una segunda capa que contiene un indicador de pH (36).

Con la capa de medida se pretende que los derivados coloreados o fluorescentes que se originan como respuesta al analito presente, no migren o se queden en otras capas, lo que reduciría la sensibilidad del análisis aumentando su error. Para ello, se dispone una capa capaz de recibir e inmovilizar el producto de reacción a través de diversos mecanismos como pueden ser interacciones electrostáticas o reacciones antígeno-anticuerpo (37), (38).

No obstante lo dicho, se pueden usar y estructurar otras capas diferentes de acuerdo con las necesidades de cada sistema analítico, construyendo así el procedimiento a demanda al haberse individualizado las diferentes operaciones.

Entre estas capas encontramos capas reflectantes, fabricadas con pigmentos como  $\text{TiO}_2$  o  $\text{BaSO}_4$  incluidos en polímeros hidrofílicos, tales como gelatina o alcohol polivinílico, junto con agentes humectantes (34), para mejorar la medida de reflectancia difusa. A veces se sitúan capas opacas encima de la capa reflectante para mejorar la medida, aumentar la estabilidad de los productos de reacción y para apantallar sustancias presentes en la muestra como pueden ser los eritrocitos en las determinaciones en sangre total (39). La capa de eliminación de interferencias puede conseguir su objetivo por diversos mecanismos, como pueden ser complejación, precipitación u oxidación. Así, la eliminación de la interferencia de alcalinotérreos con complejones en la determinación de iones alcalinos en suero (40) o el empleo de una capa de ascorbato oxidasa para eliminar la interferencia de ascorbato en la determinación de glucosa en sangre (34).

Otro tipo de capa utilizada es la capa de separación, que pretende el aislamiento de sustancias basadas en tamaño, tal es el caso de membranas dializadoras (41) o membranas porosas asimétricas (42); o bien basadas en polaridad; en concreto, una capa formada por una disper-

sión de un disolvente hidrofóbico en una fase hidrofílica o viceversa, puede separar componentes hidrofóbicos de hidrofílicos (43). Los reactivos inestables se pueden compartimentalizar en una capa específica aislandolos así del resto; incluso como disoluciones ubicadas en cápsulas selladas que se pueden romper mediante presión, temperatura o disolventes; por ejemplo, en un ensayo para creatinina, se ha incluido una doble lámina sellada de polietileno, que se rompe por presión, conteniendo 0,1 mL de NaOH 1,0 M (44).

Los sensores desechables que acabamos de comentar son exclusivamente de tipo visual o bien de tipo óptico a través de la medida de la radiación reflejada – reflectancia difusa- por la cara de medida del sensor, que a veces es la opuesta a la de recepción de la muestra; aunque en otras ocasiones puede ser la radiación absorbida, caso de sensores transparentes, o bien ser la luminiscencia generada la que es medida. La instrumentación empleada para ello puede ser de sobremesa, tanto convencional como dedicada – pensemos en los lectores de tiras reactivas usados en análisis clínicos- o bien portátil, especialmente reflectómetros.

Sin embargo, no debe menospreciarse la importancia que tienen los sensores de tipo visual; no hay que considerar que pertenecen a una etapa ya pasada y ya superada por la actual instrumentación portátil o de sobremesa. Realmente son los más demandados por el mercado y muchas empresas de este sector aceptan con dificultad el desarrollo y comercialización de sistemas que exijan instrumentación, aunque sea portátil, tanto por la necesidad de mantener servicios post-venta y de reparaciones, como por la propia demanda de los clientes.

Por esta razón, se ha trabajado intensamente para tratar de resolver problemas presentados por estos sistemas visuales, principalmente los relacionados con la comparación del color del sensor con la carta de colores, escala analógica, que pretende clasificar el resultado en un grupo de concentraciones preestablecido. En concreto, en reducir la influencia de las condiciones ambientales – iluminación, ángulo-, la inexperiencia frecuente del operador o los problemas con usuarios discapacitados – problemas visuales en diabéticos- (45).

Para solventar estos problemas, se han propuesto diversas soluciones que tienen un denominador común,

establecer la concentración directamente a partir del sensor sin ninguna apreciación subjetiva y sin el uso de ninguna instrumentación. Los dos grupos de soluciones propuestas se refieren a modificar el ensayo de manera que sea posible utilizar una propiedad fácil de medir como podría ser tiempo o distancia; esto se ha logrado, por ejemplo, con sensores desechables de flujo lateral de los que hablaremos posteriormente. La medida de la distancia que un analito o producto de reacción recorre a través de un soporte poroso durante un tiempo determinado permite estimar su concentración, usando una pequeña escala incorporada en el propio dispositivo (46), (47).

El segundo grupo de soluciones está constituido por los sensores desechables legibles visualmente. Consisten en tiras reactivas que presentan un conjunto de zonas que contienen todos ellas los reactivos necesarios para generar el cambio de color, pero que se diferencian una de otra en que presentan cantidades crecientes de inhibidor o antagonista de la reacción que origina ese cambio de color, esto es, que requiere una concentración de analito superior a la de la anterior zona para que se perciba el producto de reacción. Por tanto, simplemente vien-

do cuantas zonas han reaccionado se sabe cual es la concentración buscada (48)

Otro tipo de sensores desechables son los de tipo electroquímico, que se pueden considerar células electroquímicas autocontenidas sobre las que se coloca la muestra para obtener una respuesta (49). Se han utilizado diferentes propiedades eléctricas en conjunción con estos sensores, siendo las técnicas más usadas amperometría, potenciometría, técnicas de redisolución y conductimetría.

Para la preparación de estos sensores electroquímicos desechables se han utilizado diferentes tecnologías, aunque las más habituales son el serigrafiado dentro de las técnicas de capa gruesa y la litografía dentro de las de película delgada. Mediante estas técnicas y con tintas de carbono, que son las más habituales, es posible la impresión de electrodos desechables en casi cualquier formato que se desee. Estos electrodos se encuentran impresos sobre láminas de material plástico o cerámico de aproximadamente 1 por 4 cm y poseen unos contactos metálicos para posibilitar su medida. Es frecuente asimismo que el conjunto esté recubierto por una capa ais-

lante que deja al descubierto sólo los electrodos, siendo allí donde se aplica la muestra (50).

Los sensores amperométricos desechables son los más habituales y se basan en la medida de la intensidad de estado estacionario generada por una reacción de transferencia electrónica que involucra al analito cuando se aplica una diferencia de potencial externa. Aunque se usan frecuentemente diseños de dos electrodos, es habitual el sistema potenciostático de tres electrodos por las ventajas que tiene, siendo los electrodos de trabajo y auxiliar, de grafito y de Ag/AgCl el de referencia.

El elemento de reconocimiento de estos sensores se dispone sobre o dentro del sistema electródico y es muy habitual el empleo de elementos de sensado biológicos entre los que se incluyen enzimas, receptores, antígenos o anticuerpos, microbios, proteínas de transporte o tejidos. Aquí, el elemento clave para el desarrollo de estos sensores, y el que determina sus características, es la inmovilización del elemento de reconocimiento (51).

La fisisorción sobre el electrodo es una técnica muy simple, con el conocido inconveniente de su fácil desorción y baja estabilidad; sin embargo, eso no supone

un grave problema cuando trabajamos en formato de un solo uso. Por ejemplo, la inmovilización por adsorción de lactatodeshidrogenasa y  $\text{NAD}^+$  sobre un electrodo serigrafiado se ha utilizado en un sensor desechable para lactato (52). La adsorción en o dentro de membranas también se ha usado para la retención de reactivos, habiéndose descrito un multisensor amperométrico de tipo microbiano para pesticidas tipo organofosforado en una membrana de alginato (53). El entrapamiento en la matriz del electrodo serigrafiado es otra estrategia usada para el desarrollo de sensores desechables, para lo cual se incluye en la tinta de carbono el elemento de reconocimiento, enzimas habitualmente, junto con sustratos y mediadores electroquímicos (54). La electropolimerización de un monómero junto con el elemento de reconocimiento permite la preparación de una membrana sobre el electrodo. Polianiones como la glucosa oxidasa se han inmovilizado con polímeros conductores como el polipirrol (55).

La inmovilización química tiene ventajas innegables y se ha usado en sus diversas variantes, desde la más elemental de entrecruzamiento covalente, con el glutaral-

dehido como representante más conocido (56), hasta la inmovilización covalente a través de moléculas espaciadoras, caso de enzimas, sobre la superficie del electrodo serigrafiado (57). La inmovilización por afinidad basada en el sistema avidina/biotina o concanavalina/manosa ha resultado muy interesante para el desarrollo de diversos sensores desechables, por ejemplo de acetilcolinesterasa para pesticidas (58).

Al igual que los sensores ópticos o visuales que antes comentamos, los sensores electroquímicos de un solo uso no son sólo de tipo monocapa, siendo necesario en ocasiones emplear diversas capas para lograr la selectividad requerida. Estas capas pueden cumplir diversas funciones, por ejemplo transformar el analito en la especie de medida; así, la urea en amonio con una membrana de ureasa (59). También pueden eliminar interferencias, habitualmente a través de reacciones redox. Por ejemplo, el glutation necesario para eliminar la interferencia de tioles en un sensor de un único uso para la determinación de paracetamol, se sitúa en una membrana de celulosa pegada sobre el electrodo de trabajo (60). En otras oca-

siones, la eliminación de interferencias en disolución se hace mediante membranas permselectivas (61), mientras que la eliminación de interferencias como la de eritrocitos se puede hacer a través de membranas que permiten la agregación de los mismos (62).

Los sensores electroquímicos más usados, con mucho, son los de tipo amperométrico y en el campo de los sensores comerciales lo son principalmente para la determinación de glucosa en sangre en diabéticos. Los dispositivos amperométricos son baratos, fiables y permiten una lectura directa. La mayoría emplean el formato de dos electrodos con un electrodo de trabajo con glucosa oxidasa acoplada a través de un mediador, habitualmente un derivado del ferroceno y un electrodo de referencia de Ag/AgCl. La cantidad de sangre que requieren es muy pequeña, del orden de 1 a 3,5  $\mu\text{L}$  tomados con una lanceta y el tiempo de medida es muy corto, de 5 a 30 s. Al medir mediante cronoamperometría, no se necesita electrolito soporte o desgasificación de la muestra, simplificando de esta manera el proceso.

Otro tipo interesante de sensores desechables de tipo electroquímico son los basados en voltametría de redisolución (49), (63) que, a fin de cuentas, van a imitar en formato desechable esta técnica habitual en el laboratorio para la determinación de diversos analitos electroactivos, principalmente iones metálicos. La clave de estos sistemas reside en la preparación de los electrodos sobre los que se ha dispuesto el metal colector que servirá para recoger el metal durante la etapa de preconcentración, habitualmente una reducción electroquímica. El metal usual es el mercurio por sus innegables ventajas, aunque sus problemas toxicológicos y ambientales justifican su sustitución por otros como bismuto e incluso oro. Existen diferentes técnicas tanto *in situ* como *ex situ* para la preparación de electrodos de grafito serigrafiados recubiertos del metal colector (64).

En el mercado se encuentra toda una serie de analizadores portátiles comerciales, principalmente para analizar metales, tales como Pb, Cu o Cd, en agua, lodos, pinturas o aire, basados en esta técnica (65). Presentan una eficiencia comparable a la instrumentación de labo-

torio, aunque con algunas ventajas, pues con un volumen de muestra unas 100 veces inferior, son capaces de determinar concentraciones del orden de  $\mu\text{g/l}$  con tiempos de preconcentración de 3 a 5 minutos (49).

Hasta ahora he presentado diversos tipos de sensores de un solo uso que comparten una característica común, la muestra atraviesa normalmente el elemento analítico de forma total o parcial. Son los llamados sistemas verticales. Sin embargo, hay todo un conjunto de problemas que exigen otra disposición. Son los sistemas horizontales, en los que la muestra se mueve lateralmente en el elemento analítico con diversos objetivos: tomar una porción de muestra evitando su contaminación, organizar de forma secuencial operaciones analíticas o llevar a cabo separaciones cromatográficas de reactivos o interferentes. Estos dispositivos de flujo lateral se han usado con frecuencia en sensores inmunológicos heterogéneos en los se aplica una etapa inmunocromatográfica mediante la inmovilización de anticuerpos y/o oligonucleótidos en posiciones determinadas de la membrana, las llamadas zonas de captura.

Aquí, la muestra conteniendo el analito se aplica a la tira, desplazándose por capilaridad en una dirección dada, donde se encontrará con partículas transductoras del evento tales como oro coloidal, látex, colorantes unidos a poliestireno, enzimas, colorantes encapsulados en liposomas o marcadores fluorescentes. Al moverse la mezcla hacia las zonas de captura, el analito y/o los transductores se unirán a los ligandos inmovilizados, siendo los dos formatos más habitualmente usados para estos ensayos los de tipos sándwich y los competitivos (66).

Estos últimos dispositivos se están comercializando profusamente, sobre todo en el mercado norteamericano, para la identificación y/o determinación de gran número de sustancias que incluyen drogas de abuso, habitualmente en formato multianalito de hasta 12 analitos, enfermedades infecciosas, marcadores tumorales, marcadores cardiacos, pesticidas, HAP, existiendo algunos tan insólitos como los de exposición a tabaco o de narcóticos en una bebida.

Debo finalizar. Con estas palabras, ya muy largas, les he querido acercar un tema de análisis químico que parece muy alejado de las grandes instrumentaciones, cada día más complejas donde se combinan y multiplican las capacidades separativas e identificativas. Esa es una de las grandes tendencias en Química Analítica, ser capaz de resolver retos cada vez más complejos, ser capaz de llegar al análisis de una simple molécula. Sin embargo, también existen otras necesidades de información química en las que la palabra clave es sencillez y en las que todo nuestro conocimiento se debe condensar en un elemento mínimo capaz de interrogar y responder al problema.

Gracias por vuestra atención.

## Bibliografía

1. Eckschlager, K.; Stepanek, V. *Information Theory as Applied to Chemical Analysis*, Wiley-Interscience: New York, 1979.
2. Eckschlager, K. Information theory as applied to analytics. *Chemometr. Intel. Lab. Syst.* 1993, 19, 255-61.
3. Doerffel, K. Analytical science. A discipline between chemistry and metrology. *Fresenius J. Anal. Chem.* 1998, 361, 393-94.
4. Thompson, M. A healthy paradigm shift in the analytical science community. *Analyst* 2004, 129, 101.
5. Simeonov, V.; Aleksandrov, S. Philosophical aspects of chemometrical strategy in analytical chemistry. *Fresenius J. Anal. Chem.* 1987, 326, 314-16.
6. Price, D.J.S. *Hacia una ciencia de la ciencia*, Editorial Ariel: Barcelona, 1973, 1-181.
7. U.S. Department of Energy and the National Institutes of Health. Human Genome Project Information. Internet. [http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human\\_Genome/home.shtml](http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/home.shtml). 2006.
8. Weinberg, A.M. Impact of Large-Scale Science on the United States: Big science is here to stay, but we have yet to make the hard financial and educational choices it imposes. *Science* 1961, 134, 161-64.
9. Unger-Heumann, M. Strategy of Analytical Test Kits. *Fresenius J. Anal. Chem.* 1996, 354, 803-06.
10. Zolotov, Yu.; Ivanov, V.M.; Amelin, V.G. *Chemical test methods of analysis*, 1 ed.; Elsevier: Amsterdam, 2002, -317.
11. Zolotov, Yu. Analytical tools for everybody: express test methods. *Ann. Chim.* 1997, 87, 285-95.
12. Capitán-Vallvey, L. F. One-Shot Sensors. In *Encyclopedia of Sensors*, Eds. Grimes, Craig A.; Dickey, Elizabeth C.; Pishko, Michael V., 1 ed.; The Pennsylvania State University: 2005, 55-93.
13. Wang, J.Y. Reagent test device containing hydrophobic barriers. Patente no. US 4,618,475, 1986.
14. Saner, M.; Capelli, J. *The Democratization of Science*. 2003. Institute On Governance. Ottawa. Canada.

15. Guston, D.G. Forget Politicizing Science. Let's Democratize Science! *Iss. Sci Tech.* 2004, Fall, 28.
16. Sonntag, O. *Dry Chemistry. Analysis with Carrier-bound Reagents*, Elsevier Science Ltd: 1993.
17. Zipp, A.; Hornby, W.E. *Solid-phase chemistry: its principles and applications in clinical analysis.* *Talanta* 1984, 31, 863-77.
18. Smith, T.W. General liberalism and social change in post World War II America: A summary of trends. *Soc. Ind. Res.* 1982, 10, 1-28.
19. Argandoña, A. La ética en la sociedad de consumo. *Cuadernos Empresa y Humanismo* 2007, 37, 1-32.
20. de la Guardia, M. An Integrated Approach of Analytical Chemistry. *J. Braz. Chem. Soc.* 1999, 10, 429-37.
21. Oehme, I.; Wolfbeis, O.S. Optical Sensor for Determination of Heavy Metal Ions. *Mikrochim. Acta* 1997, 126, 177-92.
22. American Diabetes Association. All About Diabetes. Internet. <http://www.diabetes.org/about-diabetes.jsp>. 2007.
23. Pray, W.S. Blood Glucose Monitors. *US Pharmacist* 2006, 31, 7-12.
24. Capitán-Vallvey, L.F.; Fernández-Ramos, M.D.; Avidad-Castañeda, R.; Deheidell, M. Determination of the pesticide morestan by means a single use phosphorimetric sensor. *Anal. Chim. Acta* 2001, 440, 131-41.
25. Dilleen, J.W.; Sprules, S.D.; Haggett, B.G.D.; Birch, B.J. Electrochemical determination of silver in photographic solutions using fixed-volume single-use sensors. *Analyst* 1998, 123, 2905-07.
26. Lange, H.; Rittersdorf, W.; Rey, H.G. Diagnostic device. Patente no. US 3,897,214, 2001.
27. Charlton, S.C.; Hemmes, P.; Lau, A.L.Y. Ion test means having a hydrophilic carrier matrix. Patente no. US 4,649,123, 1987.
28. Terminiello, L.; Aronowitz, J.L. A dry reagent delivery system with membrane having porosity gradient. Patente no. US 4,774,192, 1988.
29. Hildenbrand, K.; Von Döhren, H.H.; Perrey, H.; Frank, G.; Dhein, R. Test device and a method for the detection of a component of a liquid sample. Patente no. US 4,824,639, 1989.
30. Adams, E.C.; Peterson, J.A. Stable blood detecting composition. Patente no. US 3,092,463, 1963.
31. Curme, H.G.; Columbus, R.L.; Dappen, G.M.; Eder, T.W.; Fellows, W.D.; Figueras, J.; Glover,

- C.P.; Goffe, C.A.; Hill, D.E.; Lawton, W.H.; Muka, E.J.; Pinney, J.E.; Rand, R.N.; Sanford, K.J.; Wu, T.W. Multilayer film elements for clinical analysis: general concepts. *Clin.Chem.* 1978, 24, 1335-42.
32. Walter, B. Dry Reagent Chemistries. *Anal.Chem.* 1983, 55, 498A-514A.
33. Clement, P.L. Integral element for analysis of liquids. Patente no. US 4,042,335, 1977.
34. Przybylowicz, E.P.; Millikan, A.G. Integral analytical element. Patente no. US 3,992,158, 1976.
35. Kitajima, M.; Arai, F.; Kondo, A. Multi-layer chemical analytical materials. Patente no. US 4,356,149, 1982.
36. Bruschi, B.J. Multilayer analytical element. Patente no. US 4,066,403, 1978.
37. Smith-Lewis, M.J.; Figueras, J. Reduction of detectable species migration in elements for the analysis of liquids. Patente no. US 4,166,093, 1979.
38. Greenquist, A.C. Multizone analytical element having detectable signal concentrating zone. Patente no. US 4,806,312, 1989.
39. Charlton, S.C.; Fleming, R.L.; Hemmes, P.; Lau, A.L.Y. Unified test means for ion determination. Patente no. US 4,645,744, 1987.
40. Vogel, P.; Thym, D.; Fritz M.; Mosoiu, D. Test carried for the determination of ions (II). Patente no. US 5,302,346, 1994.
41. Maddox, C.B. Dry test strip comprising a dextran barrier for excluding erythrocytes. Patente no. US 5,212,060, 1993.
42. Daffern, G.M.; Thompson, T.N. Constant volume chemical analysis test device. Patente no. US 4,994,238, 1991.
43. Vogel, P.; Thym, D.; Fritz M.; Mosoiu, D. Test carried for the determination of ions. Patente no. US 5,211,914, 1993.
44. Schaeffer, J.R.; Minsk, L.M.; Stevens, R.E. Analytical element for clinical analysis. Patente no. US 4,110,079, 1978.
45. Douglas, J.; Drexler, K.R. Direct reading chemical test strip for aqueous solution. Patente no. WO 97/12242, 1997.
46. Allen, M.P. Analyte immunoassay in self-contained apparatus. Patente no. US 5,416,000, 1995.
47. Chen, R.; Li, T.M.; Merrick, H.; Parrish, R.F.; Bruno, V.; Kwong, A.; Stiso, C.; Litman, D.J. An

- internal clock reaction used in a one-step enzyme immunochromatographic assay of theophylline in whole blood. *Clin.Chem.* 1997, 33, 1521-25.
48. Douglas, J.; Kiser, E.; Tomasco, M.F.; Dato, R.; Rice, E.G.; Tuohy, D.P.; Masson, M.; Witko, Z.; Segelke, S. Visually-readable reagent test. Patente no. US 5,843,691, 1998.
  49. Wang, J.; Tian, B.; Wang, J.; Lu, J.; Olsen, C.; Yarnitzky, C.; Olsen, K.; Hammerstrom, D.; Bennett, W. Stripping analysis into the 21st century: faster, smaller, cheaper, simpler and better. *Anal.Chim.Acta* 1999, 385, 429-35.
  50. Wring, S.A.; Hart, J.P.; Bracey, L.; Birch, B.J. Development of screen-printed carbon electrodes, chemically modified with cobalt phthalocyanine, for electrochemical sensor applications. *Anal. Chim. Acta* 1990, 231, 203-12.
  51. Andreescu, S.; Barthelmebs, L.; Marty, J.L. Immobilization of acetylcholinesterase on screen-printed electrodes: comparative study between three immobilization methods and applications to the detection of organophosphorus insecticides. *Anal.Chim.Acta* 2002, 464, 171-80.
  52. Sprules, S.D.; Hart, J.P.; Wring, S.A.; Pittson, R. A reagentless, disposable, biosensor for lactic acid based on a screen-printed carbon electrode containing Meldola's Blue and coated with lactate dehydrogenase,  $\text{NAD}^+$  and cellulose acetate. *Anal. Chim.Acta* 1995, 304, 17-24.
  53. Bachmann, T.T.; Leca, B.; Vilatte, F.; Marty, J.L.; Fournier, D.; Schmid, R.D. Improved multianalyte detection of organophosphates and carbamates with disposable multielectrode biosensors using recombinant mutants of *Drosophila* acetylcholinesterase and artificial neural networks. *Biosensors Bioelectron.* 2000, 15, 193-201.
  54. Avramescu, A.; Noguer, T.; Avramescu, M.; Marty, J.L. Screen-printed biosensors for the control of wine quality based on lactate and acetaldehyde determination. *Anal.Chim.Acta* 2002, 458, 203-13.
  55. Quinto, M.; Losito, I.; Palmisano, F.; Zambonin, C.G. Disposable interference-free glucose biosensor based on an electropolymerised poly (pyrrole) permselective film. *Anal. Chim. Acta* 2000, 420, 9-17.
  56. Bachmann, T.T.; Schmid, R.D. A disposable multielectrode biosensor for rapid simultaneous detection of the insecticides paraoxon and carbofuran at high resolution. *Anal.Chim.Acta* 1999, 401, 95-103.
  57. Solna, R.; Skladal, P.; Eremin, S.A. Development of a disposable electrochemical immunosensor

- for detection of the herbicide acetochlor. *Intern. J. Environ. Anal.Chem.* 2003, 83, 609-21.
58. Bucur, B.; Danet, A.F.; Marty, J.L. Versatile method of cholinesterase immobilisation via affinity bonds using Concanavalin A applied to the construction of a screen-printed biosensor. *Biosensors Bioelectron.* 2004, 20, 217-25.
59. Eggenstein, C.; Borchardt, M.; Diekmann, C.; Grundig, B.; Dumschat, C.; Cammann, K.; Knoll, M.; Spener, F. A disposable biosensor for urea determination in blood based on an ammonium-sensitive transducer. *Biosensors Bioelectron.* 1999, 14, 33-41.
60. Vaughan, P.A.; Scott, L.D.L.; McAleer, J.F. Amperometric biosensor for the rapid determination of acetaminophen in whole blood. *Anal.Chim.Acta* 1991, 248, 361-65.
61. Gilmartin, M.A.T.; Hart, J.P. Rapid detection of paracetamol using a disposable, surface-modified screen-printed carbon electrode. *Analyst* 1994, 119, 2431-37.
62. Black, M.; Lin, L.; Guthrie, J. Electrochemical sensors. Patente no. US 5,658,444, 1997.
63. Fogg, A.G.; Zanoni, M.V.; Barros, A.A.; Rodrigues, J.A.; Birch, B.J. Aspects of cathodic stripping voltammetry at the hanging mercury drop electrode and in non-mercury disposable sensors. *Electroanal.* 2000, 12, 1227-32.
64. Economou, A.; Fielden, P.R. Mercury film electrodes: developments, trends and potentialities for electroanalysis. *Analyst* 2003, 128.
65. Yarnitzky, C.; Wang, J.; Tian, B. Hand-held lead analyzer. *Talanta* 2000, 51, 333-38.
66. Niedbala, R.S.; Feindt, H.; Kardos, K.; Vail, T.; Burton, J.; Bielska, B.; Li, S.; Milunic, D.; Bourdelle, P.; Vallejo, R. Detection of analytes by immunoassay using up-converting phosphor technology. *Anal.Biochem.* 2001, 293, 22-30.

CONTESTACIÓN DEL  
EXCMO. SR. D. FERNANDO CAMACHO RUBIO

Excelentísimo Sr. Presidente,  
Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos,  
Sras. y Sres.:

**INTRODUCCIÓN**

Es para mí un honor y un placer contestar al discurso de ingreso como Académico de Número del Profesor Dr. Luís Fermín Capitán Vallvey.

Según el acuerdo leído por el Secretario General de esta Academia, en la misma Sesión en que se acepta su propuesta de ingreso, fui designado como el Académico que habría de contestar a su discurso de ingreso, por la afinidad de las materias en las que ambos trabajamos y tratamos de transmitir a nuestros alumnos.

Debo pues, presentar al nuevo Académico como es preceptivo, transmitirle la congratulación de la Aca-

demia en pleno y ofrecerle una cordial bienvenida a su seno.

Mi satisfacción por participar en forma activa en este Acto de incorporación a la Academia de un nuevo Miembro es debida fundamentalmente a sus méritos profesionales y humanos, que he podido apreciar a través de nuestros contactos en la vida universitaria, más frecuentes hace años cuando ambos éramos Profesores de la misma Titulación.

Últimamente debido a la separación del Título de Ingeniero Químico, en el que imparto mi docencia, de la Licenciatura en Ciencias Químicas, y al extraordinario crecimiento de nuestra Facultad, nuestros encuentros son menos frecuentes en el recinto universitario, aunque a veces nos encontramos en la Vega de Granada los fines de semana haciendo ejercicio, como es lógico por la diferencia de edad, el corriendo y yo paseando.

Pero, además, de la misma forma que lo ha hecho él en su Discurso de Ingreso, yo quiero también recordar a su padre en este Acto, para mí fue un Maestro, un Profesor de Universidad totalmente dedicado a su trabajo y preocupado por todo lo que afectaba a la vida

universitaria, que sirvió de modelo a imitar para muchos Profesores de mi generación.

Aunque ya hace muchos años, recuerdo todavía cuando Don Fermín Capitán García y Don Fidel Jorge López Aparicio me visitaron en mi despacho de la Facultad para comunicarme que por acuerdo de la Academia había sido elegido para ser miembro de la misma, aquel honor me provocó entonces sentimientos contradictorios, me satisfacía extraordinariamente, pero también me preocupaba la responsabilidad que implicaba en unos momentos en que toda mi actividad estaba volcada en el desarrollo del Departamento de Ingeniería Química.

Me gustaría que esta breve mención sirva como un homenaje nuestro a la labor desarrollada por estos Maestros en la Universidad, ambos fueron Académicos Fundadores de esta Academia y de nuestra misma Sección de Físico-Químicas.

## **PRESENTACIÓN**

Aunque los méritos del nuevo Académico han sido ya valorados por los miembros de la Academia, el

Acto de Investidura es una Sesión Pública en la que se presenta al nuevo Académico. Por tanto, en este Acto debo expresar las razones que han llevado a esta Institución, en cuyo nombre hablo, a recibirle en su seno.

Nuestro nuevo académico, termina su Licenciatura en 1973 y su doctorado en 1976, y como es usual en nuestra Universidad pasa por diferentes tipos de trabajos de investigación y docentes: Becario, Ayudante, Adjunto Interino, Adjunto Numerario, Agregado, hasta septiembre de 1983 que es nombrado Catedrático de Química Analítica.

Inicia sus trabajos de investigación bajo la dirección de su padre y maestro: Don Fermín Capitán García, fundamentalmente en el Desarrollo de aplicaciones analíticas de quelatos metálicos de azometinas aromáticas y heterocíclicas. Posteriormente, y ya de forma independiente, sus líneas de investigación se diversifican: Aplicaciones analíticas de la Espectrometría en Fase Sólida y el tema de la conferencia, Desarrollo de sistemas rápidos de análisis mediante sensores monouso, con multitud de aplicaciones prácticas principalmente en los campos medioambiental y agroalimentario.

Simultáneamente trabaja y colabora en diversos proyectos de control, conservación y recuperación de entornos degradados por la contaminación de nuestra Comunidad Autónoma, y con la Consejería de Salud en estudios sobre los niveles de metales pesados en la población andaluza. También colabora con la Industria de nuestra Comunidad en diversos contratos para la resolución de problemas concretos.

Fruto de esta dedicación son las más de 200 publicaciones que aparecen en su *currículum vitae* sobre los temas indicados y las seis patentes registradas, una gran parte de estas publicaciones se encuentran en las revistas científicas de mayor prestigio dentro de su área de conocimiento, con *referees* o censores especialistas.

Pero incluso en la investigación, un Profesor de Universidad debe ser esencialmente docente, en mi opinión, y en este sentido destacan también las 20 Tesis Doctorales dirigidas. Algunos de estos Doctores son hoy día Profesores de nuestra Universidad.

Todos sabemos que el número de años de trabajo, de publicaciones, de tesis doctorales dirigidas, etc., no son una medida adecuada de los méritos y capacidad de

un Profesor e Investigador, en muchos de estos aspectos es la calidad más que la cantidad lo importante.

Sin embargo, solo un especialista en la materia puede valorar adecuadamente el mérito de una aportación, e incluso en ocasiones puede equivocarse y ser el tiempo, al descubrirse nuevos fenómenos y datos, el que termina por confirmar o descartar la aportación.

Hoy día se está haciendo un gran esfuerzo para tratar de valorar las aportaciones en función del interés que despiertan en los especialistas en la materia, índices de impacto de las revistas, número de citas de la aportación, etc., indudablemente es el camino correcto, siempre que uno tenga en mente sus limitaciones.

Pues bien, es aplicando estos estándares cómo el *currículum vitae* de nuestro nuevo Académico justifica sobradamente, desde el punto de vista profesional, su entrada en la Academia.

Sin embargo, antes de terminar este apartado y como consecuencia de lo indicado anteriormente, quiero señalar un peligro que puede influir sobre la formación de nuestros nuevos Profesores.

Es indudable que la valoración de los méritos exclusivamente en la forma indicada anteriormente puede llevar a nuestros Profesores en formación a una excesiva especialización en la investigación, esto que puede estar justificado para aumentar la eficacia del trabajo de un Investigador, puede perjudicar a un Profesor que debe transmitir a sus alumnos una visión global y panorámica de las aplicaciones de su materia en los diversos campos de la Ciencia y de la Técnica.

A la larga la excesiva especialización también es perjudicial en la investigación, en muchas ocasiones la aplicación de metodologías propias de un área de conocimientos en otra, ha permitido avances importantes. También dificulta la comunicación entre Investigadores de diferentes áreas en Proyectos interdisciplinarios. Recordemos como ha dicho nuestro nuevo Académico que es la diferenciación y la integración de materias la que permite el progreso científico.

Por las mismas razones la formación de Doctores se está haciendo menos rentable, desde el punto de vista de los resultados de investigación obtenidos, que la contratación de un Técnico para realizar unas tareas concre-

tas, un Técnico que esté capacitado para realizar un protocolo de trabajo, que no tiene que realizar un estudio bibliográfico del tema, al que se le explica detenidamente cómo debe hacerlo, pero no porqué, no es necesario explicarle qué es lo que se busca, ni porqué se ha pensado que esta es la mejor manera de hacerlo.

No es necesario aconsejarle en la redacción de su Tesis Doctoral, ni corregírsela. No es necesario hablar con los compañeros para proponer un Tribunal, recibirlos el día de la Lectura y exponerse a que alguno de ellos indirectamente te critique. Y la mayor dificultad si estabas equivocado en tus planteamientos y los resultados no salen como esperabas, solo se ha perdido algo de tiempo y dinero de un Proyecto de Investigación, que por otra parte es lógico puesto que con este riesgo siempre hay que contar en la investigación, pero aparentemente no se han perdido uno o varios años de una persona ilusionada por la investigación y para él en la parte más trascendente de su vida.

Por supuesto, estoy hablando de cómo se realizan las Tesis Doctorales en las Facultades de Ciencias Experimentales, en las que el planteamiento de los experimen-

tos y la interpretación de los resultados suele ser una responsabilidad compartida entre el Doctorando y el Director.

La dirección de Tesis Doctorales por un Profesor, hoy día no se valora o se hace de forma insuficiente, se piensa que ya está suficientemente valorada con las publicaciones que hayan salido de la misma. Por estas razones, algunos Profesores jóvenes empiezan a pensar que la dirección de Tesis Doctorales supone un lastre que disminuye su productividad científica, y empiezan a disminuir su dedicación a esta tarea, lo que en mi opinión es malo para el futuro de la Institución Universitaria.

Pero en la Academia sí las valoramos, creemos que la formación de Doctores es una parte esencial del trabajo de un Profesor de Universidad y en este sentido nuestro nuevo Académico también cumple sobradamente.

Por todo ello, considero que la incorporación a la Academia del Profesor Capitán Vallvey ha sido un acierto de la Sección de Físico-Químicas que hizo la propuesta y del Pleno de la Academia que la aceptó, y estoy se-

guro de que será muy provechosa para la misma, dada su experiencia, capacidad y madurez.

## **SOBRE EL DISCURSO DE INGRESO**

Aunque el título del Discurso de Ingreso no expresa el tema esencial del mismo, suena bien porque sugiere todo: *“Del Análisis y de los Analistas”*, y empieza por destacar las múltiples aplicaciones de la Química Analítica en la Sociedad, con algunas consideraciones interesantes sobre el papel de la Ciencia en la Sociedad, que volveré a analizar un poco más detalladamente más adelante.

Es evidente que dentro de los diferentes campos de la Química, es la Química Analítica la que está más directamente relacionada con las necesidades usuales del ciudadano medio.

A este le preocupa su salud, que en situaciones no patológicas o de patologías no graves, puede controlarla mediante análisis de sangre, orina, heces, etc. El estado de los alimentos que ingiere, que también puede quedar caracterizado por análisis químicos o microbiológicos. El

estado del medio en que vive, caracterizado por análisis del aire, del agua y del suelo.

El tema central del Discurso de Ingreso es el desarrollo de sensores rápidos, de un solo uso, con la finalidad de determinaciones analíticas inmediatas que permitan tomar las decisiones adecuadas en tiempos cortos. La posibilidad de que estos sensores puedan ser utilizados por personas no expertas, o con una formación mínima los hace más interesantes.

Pero precisamente en esas características estriba la mayor dificultad de su desarrollo, el Profesor Capitán Vallvey nos ha explicado cómo pueden funcionar estos dispositivos, sin aplicar las diferentes etapas de un proceso analítico completo en un Laboratorio Homologado, y cómo sus resultados son de carácter cualitativo, semi-cuantitativo o simplemente sirven para detectar valores límites.

Lógicamente estos sensores son útiles por su inmediatez y accesibilidad y no excluyen que los resultados más fiables deban obtenerse en un Laboratorio de Análisis, siguiendo un procedimiento analítico normalizado, en condiciones controladas y reproducibles, pero su

importancia práctica es extraordinaria, al acercar la obtención de información que implica el análisis químico al ciudadano o profesional medio.

Las ventajas de la Sociedad moderna: agua corriente y producción en serie de los alimentos, incluso de los alimentos frescos por necesidades de normalización y limpieza, constituyen también su mayor debilidad, ya que cualquier contaminación accidental o provocada puede afectar a muchas personas.

Es evidente también que para la Sociedad actual sometida a la posibilidad de ataques terroristas “*invisibles*” de carácter químico o microbiológico, la disponibilidad de sensores rápidos que puedan ser manejados por personas sin formación especial o con una formación mínima es esencial para su supervivencia, poniendo en marcha las precauciones más adecuadas en cada caso.

También pueden ser muy útiles para el profesional en investigaciones de campo, como geólogos, policía científica, vigilancia ambiental, e incluso para el control de procesos en planta, de la Industria Química.

El Profesor Capitán Vallvey nos ha descrito también en su conferencia algunos tipos de estos sensores y

sus múltiples aplicaciones, cómo se basan en un conjunto de procesos de difusión-reacción encadenados temporalmente que se desarrollan en una pequeña superficie y cómo todos los problemas e interferencias que puedan presentarse deben estar previstos y resueltos. Estas dificultades determinan que en su desarrollo se ponga a prueba el ingenio y la imaginación del científico.

De hecho, en los sistemas multicapas pueden reproducirse casi todas las operaciones que se utilizan en un Laboratorio de Análisis Químico, como filtración, disolución, extracción, intercambio iónico, etc., complicadas porque aquí no es posible la agitación y los procesos físicos de transporte han de ser por difusión, mecanismo mucho más lento, que en ocasiones puede llegar a ser controlante del tiempo que tarda en desarrollarse el análisis. Por estas razones, la naturaleza y propiedades de las diferentes capas deben ser cuidadosamente elegidas para conseguir el fin perseguido.

El Profesor Capitán Vallvey señala también en la primera parte de su conferencia cómo los Gobiernos y Organizaciones Internacionales promueven, financiándolos adecuadamente, los grandes Proyectos Cientí-

ficos, la *Big Science*, frente a la *Little Science* llevada a cabo por investigadores individuales que trabajan con algunos colaboradores y alumnos en problemas de su propia elección, y cómo esta última forma de trabajo tiende a desaparecer por la presión de los poderes públicos que financian la investigación.

Quiero indicar aquí que yo pienso que esta última forma de trabajo no debería desaparecer y que puede ser muy útil para mantener a un Profesor de Universidad en la frontera del conocimiento en un campo más amplio de su materia, los recursos necesarios para ello no son tan importantes cuando se trabaja en una Institución que dispone de buenos recursos de información científica digitalizados y de unos Servicios Técnicos adecuados, como las Universidades actuales, entre ellas la nuestra.

Aunque el desarrollo de la Ciencia implica el estudio de sistemas cada vez más complejos en los que interaccionan muchos fenómenos, siguen produciéndose avances importantes por ideas sencillas que permiten desarrollar modelos con las simplificaciones adecuadas para representar aceptablemente los sistemas naturales y

que no siempre surgen de los grandes Equipos de Investigación.

Por tanto, el tema que ha escogido para su Discurso de Ingreso el Profesor Capitán Vallvey es un tema actual de la Química Analítica de indudable trascendencia práctica, en el que se seguirá trabajando continuamente en el futuro ya que implica acercar la información que proporciona el análisis químico al usuario, a la Sociedad en general, aunque como él mismo indica al finalizar, se encuentra muy alejado de las grandes Instrumentaciones que continuamente incrementan las capacidades separativas e identificativas del Análisis Químico.

Una vez presentado nuestro nuevo Académico y comentado su discurso de ingreso, en la medida del tiempo conveniente y de mis posibilidades, permítanme hacer algunas reflexiones sobre lo que, en mi opinión, debería ser el futuro de la Academia ahora que estamos inmersos en un proceso que duplicará el número de sus miembros y por consiguiente disminuirá de forma apreciable la edad media de los mismos.

Es indudable que un conjunto de Profesionales de los diferentes campos de la Ciencia, reunidos por volun-

tad propia y compensados exclusivamente por el honor de pertenecer al conjunto, la Academia, podría ser extraordinariamente útil para la Sociedad, analizando los problemas que se presentan en la evolución de esta, a largo plazo, y en los que la experiencia y conocimientos de la Academia pueda ser importante, y comunicando o publicando los resultados de su estudio, sin dogmatismos, los científicos sabemos que hay pocas verdades absolutas, pero también sin miedos a que estos resultados estén a favor o en contra de determinados intereses políticos o económicos.

Sé que esto puede suponer mucho trabajo y responsabilidad, por eso he indicado anteriormente que deberían ser problemas importantes a largo plazo, y no se trataría de encontrar una solución única sino de analizar las diferentes posibilidades, sin prisas y en la medida de nuestra disponibilidad.

Quiero terminar expresando de nuevo mi confianza en que la incorporación de Luís Fermín será provechosa para nuestra Institución, y dándole la bienvenida como Académico Numerario en nombre de la Academia

de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales  
de Granada.

Muchas gracias.