

La Química Analítica: aspectos conceptuales y docentes. Evolución, perspectivas actuales y retos de futuro.

M^a. ANTONIA MARTÍN¹, ANA ISABEL OLIVES¹, BENITO DEL CASTILLO¹, JOSÉ CARLOS MENÉNDEZ²

RESUMEN

Este trabajo reúne una serie de reflexiones en el campo de la Química Analítica actual, tanto en España como en el resto mundo. Se comentan algunos de los aspectos relativos a la inquietud actual por definir el campo de actuación de la Química Analítica. Se analizan las maneras en las que la Química Analítica debe responder a los problemas diarios en la sociedad actual. Desde esta perspectiva, se analiza su evolución y las tendencias actuales, para lo cual se toma como referencia la gran inversión realizada en instrumentación analítica, tanto por los laboratorios privados como por los públicos. Se pone especial énfasis en el incremento en el número de publicaciones de contenido analítico en revistas de reconocido prestigio internacional, gracias al trabajo de los profesores e investigadores en universidades y centros de investigación. Estos aspectos han favorecido la transmisión de conocimientos en las universidades españolas, potenciando la formación de los futuros profesionales farmacéuticos en este campo.

Palabras clave: Concepto y ámbito de la Química Analítica.— Evolución de la Química Analítica.— Tendencias en instrumentación analítica.— Publicaciones en Química Analítica.

¹ ¹Laboratorio de Técnicas Instrumentales, S. D. Química Analítica y ²Departamento de Química Orgánica y Farmacéutica, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid

SUMMARY

Concept and Scope of Analytical Chemistry. Evolution, trends and futures challenges.

This work is meant to serve as a reflection on the current status of Analytical Chemistry, both in Spain and worldwide. Several aspects of the current interest in defining the scope of activities of Analytical Chemistry are commented. The ways in which Analytical Chemistry must respond to the needs of modern society are analyzed. From this point of view, its evolution and current trends are analyzed, taking as a reference the large investment made in analytical instrumentation by both private and public laboratories. Particular emphasis is laid in studying the increase in the number of publications with analytical content in internationally reputed journals, thanks to the efforts of scientists in universities and research centers. These factors have facilitated the transmission of knowledge in Spanish Universities, potentiating the training of future pharmaceutical professionals in this field.

Key words: Concept and scope of Analytical Chemistry.— Evolution of Analytical Chemistry.— Trends in analytical instrumentation.— Analytical Chemistry publications.

EXTENDED ABSTRACT

The second half of the 20th Century has witnessed an impressive evolution of Analytical Chemistry, with limits of detection moving from μg to pg while analytical times simultaneously plummeted from several days to fractions of a second for many determinations. While it has been held in the past that Analytical Chemistry is a mere tool for other sciences, nowadays most authors accept that Analytical Chemistry has its own principles, theories, techniques, calculation methods and applications, and therefore it must be considered as a science in itself. Moreover, its inclusion as an academic subject in chemical and pharmaceutical curricula is essential in that it provides the students with vital information and laboratory skills that they would not otherwise acquire.

New ideas introduced in the last decade have led to a more ambitious concept of Analytical Chemistry as the science of chemical measurements and their inherent uncertainty. This has led to the notion that Analytical Chemistry is a metrological science, which develops, opti-

mizes and applies tools of a very varied nature (chemical, physical, mathematical, biological,...) to measurement processes that lead to partial or global information on various systems, as required by scientists or the society. Indeed, most recent advances in science, and in the Life Sciences in particular, come from the availability of new analytical techniques. Although many of these techniques will be focused on the fields of genomics and proteomics, it has been pointed out that analytical chemists must overcome the temptation to forget other fields, perhaps less spectacular but nonetheless essential.

The importance attributed to Analytical Chemistry by chemists working in other subjects is steadily increasing, and a recent study reveals that 82% of 150,000 members of the American Chemical Society consider that its study is essential, which is surpassed only by Organic Chemistry with 88%. Past criticisms related to the scarce relationship of Analytical Chemistry with real problems seem overcome and the relevance of Analytical Chemistry to society is well established, with developed countries devoting around 6% of their resources to activities related to the various aspects of measurement. A few fields of particular social relevance are clinical and forensic chemistry, drug monitoring, environmental analysis, quality control in the chemical, agrochemical and pharmaceutical industries and the analysis of works of art and archaeological materials. In fact, the demand of analytical data has been proposed as an indicator of the degree of development of a society.

The evolution of analytical instrumentation can be considered by studying which are the most widespread techniques. In this regard, 75% of laboratories have analytical balances, 50-75% have pH-meters, gas chromatographs and VIS spectrophotometers, 25-50% have UV-VIS and IR spectrophotometers, atomic absorption spectrometers and liquid chromatographs. Finally, around 10% of the laboratories have access to particle analyzers, thermal differential analysis, NMR and GC-MS. In terms of investment, the 9,000 million € spent by EU countries in the year 2000 went primarily to IR, MS, GC and LC systems, with a large investment also being made in quality and automation.

Analytical Chemistry in Spain has reached a good level of productivity. A recent comparison of the analytical publications of EU countries

for the 1993-1999 period shows that Spain is the third country in number of publications, after Germany and the United Kingdom, with an 83% increase with respect to the 1986-1992 period. However, the situation is somewhat less satisfactory if the quality of the journals (in terms of their impact rate factor) is considered, since Spain occupies the eighth place in a classification based on the average impact rate factors of analytical publications, after Sweden, Netherland, Denmark, Belgium, United Kingdom, Austria and Finland, but well above important and more populated countries like Italy, Germany and France. This growth is undoubtedly due to the huge effort of researchers in universities and other research centers and to improvements in research funds and instrumentation. The establishment of centralized instrumentation services (Servicios Generales, CAIs) by most Universities has also helped Spanish researchers to gain access to expensive equipment, which would have otherwise remained out of their reach.

We are currently witnessing a new revolution, where instrumental improvements will allow feats such as *in vivo* automated analytical determinations. This and other technologies need not and will not involve the suppression of human participation in the gathering and critical evaluation of analytical data, which will continue to be essential.

* * * *

Hace ya muchos años, en los umbrales del siglo XX, Marie Curie señaló: *en la vida no hay que temer a nada, todo es solamente cuestión de comprenderlo*. La Química Analítica es una ciencia que actúa como catalizador, como llave, en ese proceso de comprensión [1]. En los últimos cincuenta años, el progreso y la evolución de la Química Analítica ha sido de tal magnitud que se ha pasado de alcanzar límites de detección de μg a pg , en tiempos de análisis que hacia 1950 se prolongaban durante días a las determinaciones que se llevan a cabo en la actualidad en décimas de segundo.

La Química Analítica debe responder a las necesidades y retos que una sociedad cambiante plantea en aspectos muy concretos; sirva de ejemplo el interés que despiertan las determinaciones analíticas de los fármacos anabolizantes, que ingeridos por los deportistas tienen una connotación completamente diferente que cuando se toman debido a una carencia o necesidad. Los compuestos a determinar en los casos de dopaje son muchos y muy variados: estimulantes, analgésicos, esteroides, hormonas, β -bloqueantes, sin olvidar mencionar a la tan traída y llevada eritropoyetina. La necesidad de disponer de métodos de análisis que permitan detectar con fiabilidad estos compuestos en niveles de concentración extremadamente bajos y de forma confirmatoria hacen necesario disponer de metodologías analíticas adecuadas, rápidas y de fácil automatización.

La mayoría de las Técnicas Analíticas desarrolladas durante el siglo XX responden en muchos casos a las necesidades planteadas por la sociedad, bien en épocas de florecimiento, bien en épocas de crisis, como en el caso del desarrollo de la cromatografía iónica (vinculada al *Proyecto Manhattan*). En la mayoría de los casos, los hallazgos y descubrimientos de nuevas técnicas analíticas han permitido a los investigadores que las desarrollaron ser premiados con los máximos galardones, así como el reconocimiento de la comunidad científica. Todas estas técnicas han contribuido de forma crítica al progreso en el conocimiento y en la ciencia. Esta es la idea que se recoge en las palabras del Premio Nobel de Química (1937) Paul Karrer, en la conferencia que pronunció en el Congreso de la IUPAC en 1947 [2]: *pocos descubrimientos han ejercido una influencia tan significativa en los diversos campos de la ciencia como el análisis cromatográfico introducido por Tswett. La investigación en el campo de la química de productos naturales, hormonas, vitaminas, carotenoides y numerosos otros campos nunca podría haber progresado tan rápidamente y obtenerse tales resultados si no se hubiera podido disponer de este nuevo método, el cual ha separado una enorme variedad de compuestos muy relacionados en la naturaleza.*

Burriel, Lucena y Arribas [3] afirmaban: *la Química Analítica ha experimentado una evolución tan profunda que ha llegado a transformarse de una ciencia antes considerada puramente descriptiva y rutina-*

ria, en una de las ramas más racionales de la Química. Si ya en los años setenta este cambio fue notable, hoy en día, con la incorporación de nuevas Técnicas Instrumentales y la irrupción de la informática en el laboratorio, el cambio es aún mucho más profundo [4].

Durante mucho tiempo la Química Analítica se consideró como una herramienta auxiliar en otros campos científicos; sin embargo, a este respecto, Ayres [5] señaló: *la Química Analítica constituye una disciplina por derecho propio, que incluye principios, reacciones, teorías, explicaciones, cálculos, aplicaciones, técnicas, etc. La misma suministra un tipo de información, tanto en las aulas como en el laboratorio, que necesitan todos los estudiantes de Química, así como otros estudiantes de ciertos campos relacionados, que es probable que no pueda ser adquirida en otros cursos o mediante una inclusión fragmentaria de su contenido en otras disciplinas.* Y es que hasta hace relativamente poco tiempo se han podido escuchar ideas como que *la Química Analítica no es una ciencia en sí misma, sino una mera herramienta de la que hacen uso otras ciencias* [6]. La extensión de esta idea, hasta bien entrado el siglo XX, ha condicionado el propio desarrollo de la Química Analítica y, de modo particular, su enseñanza [7].

En la década de los noventa, se produce un salto cualitativo en el concepto de la Química Analítica y se plantean unos objetivos mucho más ambiciosos y sistematizados, pasando a conceptuarse como *la ciencia de las medidas químicas* [8]. Booksh y Kowalski [9] consideran que *la Química Analítica es una ciencia de medidas y todas las medidas van acompañadas de una incertidumbre*; por tanto, para estos autores, sea cual sea la técnica analítica empleada en la medida, la estadística aplicada a estas determinaciones va a tener un peso importante.

En este sentido, Valcárcel ha realizado un laborioso esfuerzo y un minucioso trabajo para centrar y definir el concepto y los objetivos de la Química Analítica [10], que han quedado plasmados en diferentes artículos y libros. En uno de ellos se señala lo que la Química Analítica **no** es:

- una ciencia o disciplina aplicada,
- un conjunto de técnicas o métodos con los que obtener resultados,

- una mera técnica yuxtapuesta a las necesidades de la sociedad, la industria o el comercio,
- una disciplina que concierne exclusivamente a las muestras y a los analitos,
- una disciplina confinada a la determinación de especies esencialmente inorgánicas mediante el empleo de técnicas químicas,
- una ciencia recluida en las paredes del laboratorio,

para definirla de la siguiente forma: *la Química Analítica es una ciencia metrológica, que desarrolla, optimiza y aplica herramientas de tipo material, estratégico o metodológico de muy distinta naturaleza (química, física, matemática, bioquímica, biológica, etc.), las cuales se materializan en procesos de medida para obtener información de calidad (bio)química, ya sea de naturaleza parcial (presencia, concentración, estructura de los analitos o especies (bio)químicas) o bien de naturaleza global acerca de sistemas de variada naturaleza (química, bioquímica y biológica) en el espacio y en el tiempo, con la finalidad de resolver los problemas según demanda la sociedad, los científicos o los técnicos.*

A esta definición se ha llegado tras considerar que las metodologías analíticas aportan información multidimensional, normalmente gracias al empleo de diferentes técnicas analíticas individuales [11]. Posteriormente, se ha llegado a establecer una jerarquía metrológica en Química Analítica [12,13].

En estos últimos años, el avance producido en el campo científico de las ciencias de la vida se debe, en gran parte, al hecho de poder disponer de nuevas técnicas analíticas. Como afirma Hirsch [14], *estas técnicas analíticas demuestran el concepto de la secuencia genética que determina la estructura proteica y ésta determina la función biológica [...]* esto es una simplificación, pero también una realidad y así, en el futuro, *la Química Analítica va a estar muy centrada en la Biología.* El desarrollo de las nuevas técnicas analíticas no debe suponer una ruptura con el pasado. Si muchas de estas técnicas van a estar focalizadas en el análisis en biología molecular, en los campos de la proteómica, la genómica y la farmacogenómica, ello no supone el renunciar a las técnicas que deno-

minamos “clásicas” de análisis de proteínas, como la ultracentrifugación o el radioinmunoanálisis. Tal y como analiza Kennedy [15] en su editorial sobre el sinergismo existente entre los distintos campos de la ciencia en Química Analítica, no deben prevalecer los campos más recientes, como la química combinatoria o la genómica, sobre otros, sino que todas las materias son importantes: *despreciar cualquier actividad supone el más serio obstáculo para el avance de nuestra disciplina.*

Durante muchas décadas se ha cuestionado la relevancia de la Química Analítica y su futuro. Muchas críticas surgen de la desconexión existente entre la *filosofía de la Química Analítica* y los patrones científicos aceptados, así como de la carencia de principios exclusivos de la disciplina. Valcárcel, en 1986, durante las Jornadas dedicadas a *Tendencias actuales en química* [16], celebradas en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (Santander) expuso algunas de las razones que podrían justificar la *mala reputación* de los químicos analíticos:

- La concepción precaria del concepto de Química Analítica,
- La escasa relación con los problemas reales,
- La frágil relación con otras áreas de la Ciencia,
- La investigación no siempre bien orientada,
- Las relaciones internacionales exiguas.

Sin embargo, en los últimos años parece que esta tendencia se ha invertido. En nuestro país son frecuentes las relaciones internacionales y la relación con los problemas y demandas que suscita una sociedad cambiante. En España, al igual que en otros países desarrollados, como Alemania o Estados Unidos, la importancia atribuida a la Química Analítica está aumentando. Así, una encuesta realizada entre 150.000 miembros de la American Chemical Society revela que un 82 % de las personas encuestadas considera indispensable el estudio de la Química Analítica, porcentaje que sólo es superado por la Química Orgánica con un 88 %.

Hoy en día se dispone de otros indicadores que nos permiten valorar la importancia de la Química Analítica en la sociedad. Así, numerosas decisiones de importancia social se toman en relación con los resultados

obtenidos en determinaciones analíticas. En los países desarrollados se destina alrededor de un 6 % del PIB a actividades relacionadas con la medida [17], y de hecho la demanda de resultados analíticos relacionados con los siguientes campos crece día a día:

- El análisis normalizado en el campo sanitario (parámetros rutinarios, monitorización de fármacos, determinación de compuestos tóxicos en medicina forense).
- El análisis en el ámbito medioambiental (seguimiento y determinación de los niveles de contaminantes).
- El análisis de piezas históricas, arqueológicas y artísticas.
- Los análisis en la industria química (control de calidad de numerosos procesos industriales).

Por ello, la demanda de datos analíticos puede considerarse como un indicador del grado de bienestar de las sociedades desarrolladas [18,19]. En consecuencia, si bien la Química Analítica necesita nutrirse de los fundamentos de otras disciplinas, es una rama de la Ciencia indispensable para el avance de la propia Ciencia y de la sociedad.

La evolución y el avance de la Química Analítica se debe en parte a los avances propios de la disciplina y en parte a los progresos externos, entre los que cabe destacar el desarrollo de la instrumentación, la miniaturización, la automatización y los logros alcanzados en microelectrónica e informática.

Uno de los criterios para conocer la evolución de las técnicas analíticas y las tendencias recientes puede ser considerar las técnicas más empleadas por los laboratorios (Tabla 1). Así, más de un 75% de los laboratorios poseen balanzas analíticas, entre un 50-75% tienen pH-metros, cromatógrafos de gases y espectrofotómetros que operan en el visible. De un 25 a un 50% poseen espectrofotómetros UV-VIS e IR, cromatógrafos de líquidos y espectrómetros de absorción atómica. Sólo un 10% poseen refractómetros, equipos de RMN y GC-MS, analizadores de partículas y análisis térmico diferencial [20].

Tabla 1: Técnicas instrumentales más frecuentemente utilizadas en los laboratorios de análisis de rutina en la industria. Datos referidos al año 1990.

Instrumento/ equipo instrumental	% de laboratorios que lo emplean habitualmente
Balanzas analíticas	50-75 %
pH-metros	50-75 %
Espectrofotómetros UV-VIS	25-50 %
Cromatógrafos de gases	25-50 %
Espectrofotómetros IR	30-50 %
Espectrómetros de absorción atómica	30-50 %
Cromatógrafos de líquidos	30-50 %
Espectrómetros de emisión ICP	10-15 %
Espectrómetros de RMN	10-15 %
Técnicas acopladas (CG-MS)	10 %
Análisis Térmico Diferencial	10 %
Espectropolarímetros	10 %
Refractómetros	10 %
Contadores de partículas	10 %
Espectrómetros de electrones	< 10 %
Polarógrafos	< 10 %

Otra aproximación que permite estudiar la evolución y tendencias de futuro de las Técnicas Analíticas puede consistir en considerar las inversiones económicas realizadas durante un período de tiempo. Así, la inversión en instrumentación analítica realizada en EEUU creció desde 1.750 millones de dólares en 1980 hasta 2.470 millones de dólares en 1990 y, en este caso, son las técnicas acopladas las que registran un mayor incremento porcentual durante esta década.

Análogamente, Rouessac y Rouessac [21] han estudiado esta tendencia en los países de la Unión Europea. Sus conclusiones se reflejan en la Figura 1, donde los valores porcentuales se refieren a los 9.000 millones de euros invertidos en el año 2000.

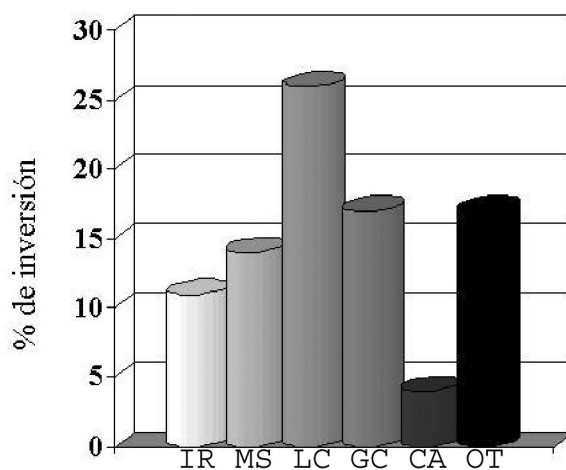


FIGURA 1. Porcentajes de inversión en instrumentación en la Unión Europea. Datos referidos al año 2000. IR, espectrofotometría infrarroja; MS, espectrometría de masas; GC, cromatografía de gases; LC, cromatografía de líquidos, CA, calidad y automatización, OT, otras técnicas

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el contenido de los trabajos publicados en las revistas científicas de ámbito analítico donde los profesores y científicos de las universidades europeas plasman su quehacer diario. Así, Georgiou y Thomaidis [22] han realizado un estudio sobre la evolución de la Química Analítica en el período 1993-1999, considerando los trabajos procedentes de los distintos países de la Unión Europea y que aparecen resumidos en el *Analytical Abstracts*. De todos los países considerados, Alemania lidera en lo que a número de publicaciones analíticas se refiere, seguida del Reino Unido y España. Así, y tal como se refleja en la Figura 2, el número de publicaciones españolas experimentó un aumento del 83 % con respecto al período 1986-1992. Otra de las conclusiones a las que llega este estudio es que la mayoría de los trabajos corresponden a técnicas analíticas de separación y aparecen publicadas en el *Journal of Chromatography*. Dentro de las revistas analíticas de tipo general, los europeos se decantan claramente por publicar en *Analytica Chimica Acta* frente a *Analytical Chemistry*.

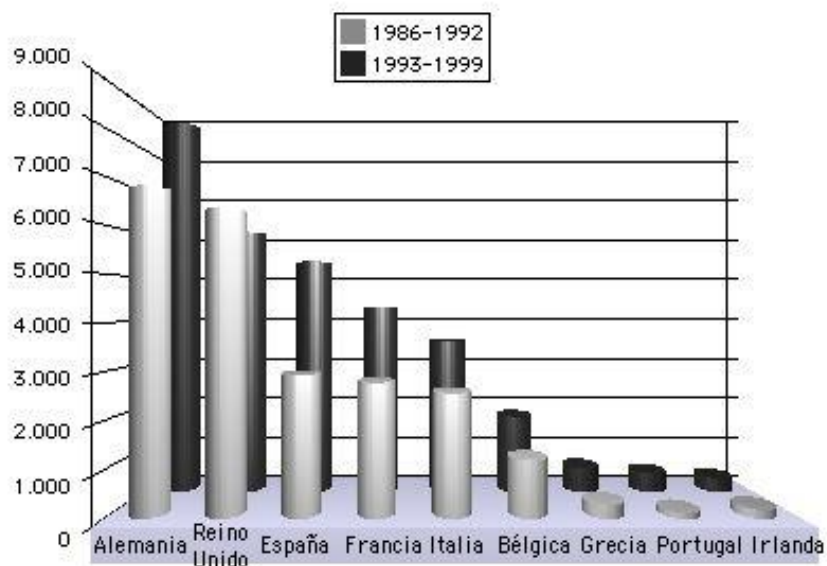


FIGURA 2. Comparación entre el número de publicaciones en Química Analítica citadas en *Analytical Abstracts* procedentes de varios países de la Unión Europea, en los períodos 1986-1992 y 1993-1999

En la Tabla 2 se representan los índices de impacto medios de las publicaciones procedentes de varios países europeos en el período 1993-1999. Hay siete países que se sitúan por encima del índice de impacto medio de la Unión Europea (1,75). Estos países son: Suecia, Holanda, Dinamarca, Bélgica, Reino Unido, Austria y Finlandia. Esta tendencia persiste desde comienzos de los años ochenta y se puede explicar teniendo en cuenta que los científicos de estos países publican sus trabajos en las revistas de mayor índice de impacto, como *Analytical Chemistry* (Suecia y Austria) y *Clinical Chemistry* (Dinamarca, Finlandia y Holanda).

Tabla 2: Índice de impacto medio de las publicaciones analíticas procedentes de varios países de la Unión Europea (1993-1999)

Países	Índice de impacto medio
Suecia	1,98
Holanda	1,94
Dinamarca	1,93
Bélgica	1,87
Reino Unido	1,86
Austria	1,85
Finlandia	1,82
España	1,73
Irlanda	1,72
Italia	1,70
Alemania	1,69
Francia	1,56
Portugal	1,49
Grecia	1,48

Del estudio anterior puede deducirse que en España, y en concreto en el campo de la Química Analítica, ha crecido notablemente el número de publicaciones con respecto al sexenio anterior (1986-1992), lo cual se debe en gran medida al esfuerzo que ha llevado a cabo el profesorado universitario en una apuesta por la innovación científica y tecnológica, así como al incremento en los recursos materiales y de fondos destinados a la investigación. En los últimos diez años las universidades españolas han llevado a cabo una importante inversión en instrumentación, que facilita el acceso a grandes y costosos equipos, a los distintos grupos de investigación de la comunidad universitaria. En este sentido, los Servicios

Generales o Centros de Apoyo a la Investigación (CAI), como se denominan en la mayoría de las universidades, han facilitado el acceso a las técnicas de espectroscopia Raman, espectrometría de RMN, espectrometría de masas, microscopia electrónica, micro y macroanálisis elemental, difracción de rayos X, secuenciación de DNA, citometría de flujo y un largo etcétera, por mencionar únicamente algunos de los que conocemos o de los que somos usuarios dentro de la Universidad Complutense.

Entre la comunidad de profesionales dedicados al análisis se puede considerar que un buen indicador de la evolución de la Química Analítica, de obligada consulta, son los *Fundamental Reviews* que publica bianualmente la revista *Analytical Chemistry*; cuyo contenido correspondiente al número 12, volumen 74, del año 2002 se enumera a continuación, en comparación con los contenidos del número equivalente del año 2000 (Tabla 3):

Tabla 3: Comparación de los contenidos del número dedicado a *Fundamental Reviews* de la revista *Analytical Chemistry* en 2000 y 2002

Contenidos, año 2002	Contenidos, año 2000
Sistemas de microanálisis total	
Cromatografía plana	Cromatografía plana
Sensores químicos y biosensores de fibras ópticas	Sensores químicos y biosensores de fibras ópticas
Aplicaciones de la espectrometría de masas en química combinatoria	Determinaciones cinéticas y aspectos cinéticos de la química analítica
Espectroscopia atómica	Espectrometría de absorción atómica electrotérmica y técnicas relacionadas
Resonancia magnética nuclear en estado sólido	Resonancia magnética nuclear en estado sólido
Espectrometría de masas en análisis medioambiental	Espectroscopia Raman
Espectrometría de masas de polímeros químicos	Espectroscopia infrarroja
Análisis térmico	Análisis térmico
Quimiometría	Quimiometría
Cromatografía de gases	Cromatografía de gases
Sensores electroquímicos	Espectrometría de fluorescencia y fosforescencia molecular y quimioluminiscencia.
Cromatografía de fluidos supercríticos y otras técnicas de separación unificadas	Cromatografía de fluidos supercríticos y otras técnicas de separación unificadas
Cromatografía de líquidos. Instrumentación	Cromatografía de líquidos en columna: equipo e instrumentación
Electroforesis capilar para el análisis de biopolímeros	Electroforesis capilar para el análisis de biopolímeros
Microscopia de barrido	Microscopia de barrido
Separaciones quirales	Microscopia química
Espectrometría de masas-ICP	Análisis de superficies: espectroscopia fotoelectrónica de Rayos X y espectroscopia Auger
Espectrometría de rayos X	Espectrometría de rayos X

Si bien algunos de los temas pueden considerarse auténticos clásicos, como la cromatografía en capa fina, la espectrometría atómica o la cromatografía de gases, aparecen nuevas técnicas o nuevos campos de aplicación analítico, como es el caso de las separaciones quirales, que están suscitando un interés creciente y que tienen gran relevancia desde el punto de vista farmacéutico. Por otra parte, los sensores y biosensores de fibras ópticas abren un abanico de posibilidades para las determinaciones analíticas *in situ* o remotas. La espectrometría de resonancia magnética nuclear (RMN) o las aplicaciones de la espectrometría de masas en química combinatoria son campos de muy reciente incorporación y exploración.

Otro indicador a considerar puede ser evaluar la evolución de los contenidos del *International Symposium on Drug Analysis*, que desde el año 1984 hasta la actualidad viene realizándose bianualmente en Bélgica. Si bien en los albores de esta reunión los temas tratados fueron menos numerosos pero más amplios, actualmente se tiende a una mayor especialización y acotación de las parcelas de interés analítico, no sólo desde el punto de vista de la industria farmacéutica sino en otros campos, como la monitorización de fármacos en fluidos biológicos o en la presencia de fármacos en los piensos utilizados en la alimentación del ganado estabulado. Así, en la reunión celebrada en Brujas (Bélgica) en abril de 2002, los temas considerados fueron los siguientes:

- Análisis de productos naturales,
- Biotecnología analítica,
- Separaciones enantioméricas,
- Tecnologías de alta sensibilidad para el análisis de trazas,
- Técnicas instrumentales acopladas,
- Métodos de validación y normas de cumplimiento,
- Nuevas tendencias en bioanálisis,
- Control de calidad de materias primas y formas farmacéuticas,
- Pretratamiento de muestras y derivatización.

Finalmente, se puede considerar como indicador de las tendencias la evolución en cuanto a contenidos, asistentes y casas comerciales que exhiben instrumentación analítica en la Conferencia de Pittsburgh. En 1999 se celebró el 50 aniversario de esta reunión: *50th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy*. Desde 1950, el número de personas que asistieron a esta reunión ha crecido de 800 a 30.000. En los últimos 20 años el número de casas comerciales expositoras ha aumentado espectacularmente, procediendo entre el 50 y el 60 % de fuera de Estados Unidos, según el estudio realizado por Erickson [23], algo impensable tan sólo unos años atrás.

En la actualidad se está asistiendo a una nueva revolución, en la que las determinaciones de ciertos parámetros analíticos de interés clínico se llevarán a cabo *in vivo* mediante el empleo de sensores miniturizados que permitan la detección *on chip*, a la vez que realizar estudios y determinaciones analíticas a grandes distancias, gracias a la utilización de sensores remotos. Estos análisis son posibles, en gran medida, por los avances tecnológicos, la popularización de las fuentes de radiación láser, la incorporación de las fibras ópticas con sus ventajosas propiedades, y los sistemas miniaturizados. Todos estos dispositivos, controlados por microprocesadores que facilitan su automatización, posibilitan que se puedan alcanzar horizontes no imaginados tan sólo una década atrás. Ante esta nueva situación, no se puede olvidar que, por encima de la tecnología, el criterio humano debe poner de relieve errores que de otra manera no se detectarían y, por ello, se debe transmitir a las futuras generaciones la idea de que no sólo es importante obtener muchos resultados en un periodo corto de tiempo, sino que esos resultados deben ser de un nivel y calidad adecuados, y al mismo tiempo que las ideas y las innovaciones no deben quedar ocultos por la burocracia que imponen las normas de obligado cumplimiento en un mundo globalizado.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) GRASELLI, J. G. (1992) *Anal. Chem.* 64: 677A-685A.
- (2) Comentado en: ETTRE, L. C. Y HORVATH, S. (1975) *Anal. Chem.* 47: 422A.
- (3) BURRIEL, F. LUCENA, F. Y ARRIBAS, S. (1970) Química Analítica Cualitativa. Paraninfo. Madrid.
- (4) HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, L. Y GONZÁLEZ-PÉREZ, C. (2002) Introducción al Análisis Instrumental. Ariel. Barcelona.
- (5) AYRES, G. H (1966) *Anal. Chem.* 38: 40A-43A.
- (6) KISSINGER, P. T. (1992) *Trends Anal. Chem.* 11: 54-57.
- (7) MALISSA, H. (1992) *Fresenius J. Anal. Chem.* 343: 836-842.
- (8) MURRAY, R. W. (1991) *Anal. Chem.* 63: 271A-271A.
- (9) BOOKSH, K. S. Y KOWALSKI, B. R. (1994) *Anal. Chem.* 66: 782A-791A.
- (10) VALCÁRCEL, M. (1997) *Trends Anal. Chem.* 16: 124-131.
- (11) VALCÁRCEL, M. Y LUQUE DE CASTRO, M. D. (1995) *Trends Anal. Chem.* 14: 242-250.
- (12) VALCÁRCEL, M. (1999) Principios de Química Analítica. Springer-Verlag Ibérica. Barcelona.
- (13) VALCÁRCEL, M. Y RÍOS, A. (1999) *Trends Anal. Chem.* 18: 68-75.
- (14) HIRSCH, R. F. (2001) *Anal. Chem.* 73: 117A-117A.
- (15) KENNEDY, R. T. (2000) *Anal. Chem.* 72: 621A-621A.
- (16) VALCÁRCEL CASES, M. (Marzo 1986) Tendencias actuales en Química. Encuentro en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Gabinete de Estudios de la Presidencia. C.S.I.C.
- (17) VALCÁRCEL, M. (1993) *Trends Anal. Chem.* 12: IX-XIII.
- (18) KOCH, K. H. (1990) *Fresenius J. Anal. Chem.* 337: 229-234.
- (19) KOCH, K. H. (1992) *Fresenius J. Anal. Chem.* 343: 821-823.
- (20) CHURACEK J. (Ed.) (1993) Advanced Instrumental Methods of Chemical Analysis. Ellis Horwood. Chichester.
- (21) ROUESSAC, F. Y ROUESSAC, A. (2000) Analyse Chimique. Méthodes et techniques instrumentales modernes. Dunod. París.
- (22) GEORGIU, C. A. Y THOMAIDIS, N. S. (2001) *Trends Anal. Chem.* 20: 462-466.
- (23) ERICKSON, B. E. (2000) *Anal. Chem.* 72: 192A-196A.