



Universitat de València

DISCURSO DE ACEPTACIÓN

**LA QUÍMICA ANALÍTICA,
HOY Y MAÑANA**

de Miguel Valcárcel Cases

EN EL ACTO DE INVESTIDURA

DE DOCTOR HONORIS CAUSA

POR LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA

La Química Analítica, hoy y mañana

ÍNDICE

Preámbulo.	5
1.- La Química Analítica en la interfase.	12
2.- Presente y futuro de la Química Analítica.	14
3.- La información (bio)química:	16
3.1 Contextualización.	17
3.2 Definición.	17
3.3 Tipos.	18
3.4 Evolución.	21
3.5 Responsabilidad social.	23
4.- La calidad de la información (bio)química.	24
5.- Los retos de la generación de la información (bio)química.	27
6.- El sistema enseñanza-aprendizaje de la Química Analítica:	31
6.1 Algunos cambios genéricos.	32
6.2 Algunos cambios específicos en Química Analítica.	34
7.- Conclusión.	35

LA QUÍMICA ANALÍTICA, HOY Y MAÑANA

Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Valencia,
(Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Córdoba),
Autoridades Académicas,
Señores y señoras claustrales de la Universidad de Valencia,
Compañeros, amigos y familiares,
Señoras y señores,

Con este solemne acto académico se cumple uno de mis sueños: volver a ser doctor después de casi 40 años del primer doctorado en la Universidad de Sevilla, mi alma mater hasta hoy y que tendré que compartir desde ahora con la de la Universidad de Valencia. ¡Y a mucha honra!

Quiero hacerles partícipe de las tres razones principales por las que me embarga una gran emoción y responsabilidad en estos momentos:

- a) En primer lugar, por pertenecer desde ahora, al claustro de doctores de una universidad puntera, de gran prestigio, que podrá contar conmigo para todo lo que estime oportuno y pueda serle útil.
- b) En segundo lugar por la feliz coincidencia de este acto con la celebración en el presente 2011 del Año Internacional de la Química, mi vieja y exigente compañera y amante (por aquello de la atracción fatal) durante casi cincuenta años. Ella no ha dejado de estimularme y retarme; no me ha dejado dormir en los laureles ni tampoco alejarme de ella por causas justificadas, como cargos que exigían plena dedicación. Nunca he tenido tentación de ser candidato a Rector, ni he aceptado responsabilidades que implicaban un distanciamiento real de ella; estoy seguro que no me lo hubiera perdonado. Pero también la Química ha sido ampliamente generosa conmigo como recompensa a mi fidelidad, lo que se ha concretado en conocimientos fascinantes, oportunidades para resolver problemas reales, permitirme estar en la cresta de la ola de las temáticas más novedosas y de

impacto desde sus inicios, de propiciarme el contacto con jóvenes científicos y amistades inquebrantables y maravillosas, además de premios y distinciones. Sumando y restando variables, he salido claramente ganando de mi tormentosa relación con la Química, aunque he tenido que pagar un precio alto por el deterioro de mi salud.

- c) En tercer lugar, por mi constante dedicación y devoción a la mejora tanto en su consideración como en la calidad de los estudios de Doctorado en España. A lo largo de mi trayectoria académica he realizado muchos esfuerzos a diferentes niveles: grupo de investigación, institucional-local, regional y estatal. Así pues, pueden Vds. imaginar la importancia que tiene para mí esta distinción doctoral.

- d) Finalmente, y en el capítulo de agradecimientos, quiero en, primer lugar, dejar constancia de la generosidad de los órganos colegiados y unipersonales de gobierno de la Universidad de Valencia que ha culminado en mi nombramiento y, en especial, al promotor de la candidatura Prof. Miguel de la Guardia Cirugeda y a los colegas químico-analíticos de esta Universidad. Muchas gracias. En segundo lugar, tengo el deber y la satisfacción de reconocer la incansable labor que han desarrollado los más de 200 miembros (25% extranjeros) del grupo de investigación que dirijo en los últimos treinta años, de los que 12 de ellos son catedráticos de universidad. En tercer lugar, me resulta imprescindible hacer constar mi agradecimiento a mi familia, especialmente a Lola, mi mujer, a mi madre Leonor, a mis hijos (Miguel, MariPaz, Marisa y Germán), a mis nietos (Miguel y Alberto) y a mis hermanos (Antonio y Nuri), por la paciencia y comprensión infinitas que han tenido conmigo por mi excesiva (eso lo creo ahora) dedicación a las tareas docentes e investigadoras. Comparto obviamente con todos ellos (familia y compañeros de fatigas) esta distinción.

----- o -----

He centrado este discurso de aceptación del doctorado honoris causa en el presente y futuro de la investigación y enseñanza de la Química Analítica, la disciplina de mi área de conocimiento, a la que he dedicado grandes esfuerzos para la mejora de la pobre imagen que ha tenido en España, fundamentalmente, cuando entré como profesor en la Universidad de Sevilla a principios de los años setenta, en claro contraste con la que tiene en países desarrollados como EE.UU. y Japón. Para ello, abordaremos su contextualización científico-técnica, su presente y futuro, así como describiremos las características, tipos, evolución, calidad y retos de la información química y bioquímica, que es el “producto” principal de nuestra disciplina. Finalmente haré una reflexión de cómo abordar el sistema enseñanza-aprendizaje de la Química Analítica en el contexto del Espacio Europeo de Educación Superior.

LA QUÍMICA ANALÍTICA, AVUI I DEMÀ

*Sr. Rector Magnífic de la Universitat de València,
(Sr. Rector Magnífic de la Universitat de Còrdova),
Autoritats Acadèmiques,
Senyors i senyores claustrals de la Universitat de València, Companys, amics i familiars,
Senyores i senyors,*

Amb aquest solemne acte acadèmic es compleix un dels meus somnis: tornar a ser doctor després de gairebé 40 anys del primer doctorat en la Universitat de Sevilla, la meva alma mater fins a avui i que hauré de compartir des d'ara amb la de la Universitat de València. I amb molta honra!

Vull fer-los partícip de les quatre raons principals per les quals m'embarga una gran emoció i responsabilitat en aquests moments:

a) En primer lloc, per pertànyer des d'aquest moment, al claustre de doctors d'una universitat puntera, de gran prestigi, que podrà contar amb mi para tot el que estimi oportú para ser-li útil.

b) En segon lloc per la felix coincidència d'aquest acte amb la celebració en el present 2011 de l'Any Internacional de la Química, la meva vella i exigent companya i amant (per allò de l'atracció fatal) durant gairebé cinquanta anys. Ella no ha deixat d'estimular-me i reptar-me; no m'ha deixat dormir en els llorers ni tampoc allunyar-me d'ella per causes justificades, com càrrecs que exigirien plena dedicació. Mai he tingut temptació de ser candidat a Rector, ni he acceptat responsabilitats que implicaven un distanciament real d'ella;estic segur que no m'ho hagués perdonat.

Però també la Química ha estat àmpliament generosa amb mi com recompensa a la meva fidelitat, el que s'ha concretat en coneixements fascinants, oportunitats per a resoldre problemes reals, permetre'm estar en la cresta de l'ona de les temàtiques noves i d'impacte des dels seus inicis, de propiciar-me el contacte amb joves científics i amistats infrangibles i meravelloses, a més de premis i distincions. Sumant i restant variables, he sortit clarament guanyant de la meva tormentosa relació amb la Química, encara que he hagut de pagar un preu alt per la deterioració de la meva salut.

c) En tercer lloc, per la meva constant dedicació i devoció a la millota tan de la consideració com de la qualitat del estudis de doctorat a Espanya. He fet molts d'esforços tan en el grup de

recerca, com a nivell institucional-loca, regional i estatal. Aixà doncs, ja poden imaginar la importància que te per a mi aquesta distinció doctoral. I,

d) Finalment i en el capítol d'agraïments, vull en, primer lloc, deixar constància de la generositat dels òrgans col·legiats i unipersonals de govern de la Universitat de València que ha culminat en el meu nomenament i, especialment, al promotor de la candidatura Prof. Miguel de la Guardia Cirugeda i als col·legues químic-analítics d'aquesta Universitat. Moltes gràcies. En segon lloc, tinc el deure i la satisfacció de reconèixer la incansable labor que han desenvolupat els més de 200 membres (25% estrangers) del grup d'investigació que dirigeixo en els últims trenta anys, dels quals 12 d'ells són catedràtics d'universitat. En tercer lloc, em resulta imprescindible fer constar el meu agraïment a la meua família, especialment a Lola, la meua dona, a la meua mare Leonor, als meus fills (Miquel, MariPau, Marisa i Germán), als meus néts (Miquel i Albert) i als meus germans (Antoni i Nuri), per la paciència i comprensió infinites que han tingut amb mi pel meu excessiva (això ho creo ara) dedicació a les tasques docents i investigadores. Comparteixo òbviament amb tots ells (família i companys de fatigues) aquesta distinció.

-----o-----o-----

He centrat aquest discurs d'acceptació del doctorat honoris causa en el present i futur de la investigació i ensenyament de la Química Analítica, la disciplina de la meua àrea de coneixement, a la qual he dedicat grans esforços per a la millora de la pobra imatge que ha tingut a Espanya i fonamentalment quan vaig entrar com professor en la Universitat de Sevilla a principis dels anys setanta, en clar contrast amb la qual té en països desenvolupats com USA. i Japó. Per a això abordarem la seva contextualització científic-tècnica, la seva present i futur, així com descriurem les característiques, tipus, evolució, qualitat i reptes de la informació química i bioquímica, que és el resultat o output principal de la nostra disciplina. Finalment faré una reflexió de com abordar el sistema ensenyament-aprenentatge de la Química Analítica en el context de l'Espai Europeu d'Educació Superior.

1.- LA QUÍMICA ANALÍTICA EN LA INTERFASE

Los avances científicos y tecnológicos, y no las repeticiones sobre un mismo tema, como en el ámbito musical, se encuentran casi siempre en las denominadas interfases o fronteras entre áreas, sub-áreas y disciplinas científico-técnicas. Estas interfases no han de entenderse como barreras, sino como lugares de encuentro, crisoles de conocimientos y experiencias complementarias/ enriquecedoras, así como caldos de cultivo que conducen a dichos avances.

Para que la Química Analítica cumpla su misión y alcance sus objetivos estratégicos tiene que tener establecidos puentes o interfases simbióticas, que pueden tener la consideración de internas y externas respecto a la Química.

Las interfases internas son las que la Química Analítica tiene que establecer con las otras áreas de la Química (Q. Física, Q. Orgánica, Q. Inorgánica y Q. Aplicada), que deben tender a desvanecerse en áreas mixtas comunes como ocurre en los países científicamente avanzados. El mantenimiento de compartimientos estanco en la Química solo puede responder a intereses corporativos y al mantenimiento de privilegios que son insostenibles en el siglo XXI. Desde mi punto de vista, la Química es única, aunque los químicos nos hemos empeñado en dividirla y subdividirla, lo que la debilita como disciplina científica.

Las interfases externas de la Química Analítica son las zonas de encuentro simbiótico científico-técnico que debe establecer con áreas tales como la Biología, Matemáticas, Física, Ingenierías, Salud, etc., de las que los beneficios mutuos son innegables. Ejemplos característicos son las enzimas o tejidos vegetales/ animales inmovilizados como fases electroactivas de un bioelectrodo, el desarrollo de la instrumentación científica, los desarrollos quimiométricos tanto para el tratamiento de datos primarios como para el diseño de experimentos, la implantación a escala de laboratorios de procesos

industriales como la liofilización o la extracción de fluidos supercríticos, entre otros también significativos.

Las reacciones químicas son la base de los procesos naturales que ocurren en los genes vivos: el rol de la Química es indiscutible. Un ejemplo reciente de la débil barrera que separa a la Química Analítica de la Biología es el premio Nobel de Química concedido a Tsien, Chalfie y Shimomura por sus trabajos sobre la proteína de fluorescencia verde (GFP); tanto ésta como en sus versiones mutadas han servido de base para observar, identificar y codificar otras proteínas y péptidos en células; es decir, se trata de una herramienta analítica en el ámbito de la Bioquímica y la Biología Molecular.

Con la mirada hacia delante pueden considerarse desafíos de la Química, entre otros, los siguientes: 1) La Química de la Vida; 2) La Química Sostenible en el ámbito medioambiental (Química Verde); 3) La Nanoquímica; 4) Las nuevas tecnologías en el sentido más amplio de la palabra; 5) La fuente informativa fiable y eficiente; y 6) La divulgación adecuada e inteligente de lo que es y supone la Química en el ámbito social y económico. La generación de información (bio)química sobre materias, objetos y sistemas naturales y artificiales está relacionada más directamente con la Química Analítica.

La iniciativa de los países del Tercer Mundo para la declaración de las Naciones Unidas del año 2011 como Año Internacional de la Química es muy prometedora, ya que se reconoce tanto el importante rol de la Química para contribuir a lograr un mundo mejor como la necesidad de mejorar la deteriorada imagen social que, en general, actualmente tiene¹. Este discurso pretende contribuir a esta celebración considerando al Análisis como tercer componente básico de la Química, además de la Teoría y la Síntesis.

En el presente discurso se pretende racionalizar y enfatizar la importancia de una información (bio)química de calidad para tomar decisiones correctas y a tiempo

¹ <http://www.chemistry2011.org>

tanto en el ámbito interno químico (ej. síntesis) como externo (ej. portabilidad de un agua). Es una faceta que no ha sido plenamente reconocida entre los químicos europeos, pero su impacto es de gran trascendencia teórica y práctica en otros países desarrollados como USA y Japón.

2.- PRESENTE Y FUTURO DE LA QUÍMICA ANALÍTICA

La Química Analítica ha evolucionado espectacularmente en las últimas décadas tanto en España como en Europa. Para alcanzar al ámbito que le corresponde en el seno de la Química se han tenido que redoblar los esfuerzos de los químicos analíticos para “*desfacer entuertos*” y así desterrar progresivamente la mala imagen que tienen de ella muchos colegas (ej. marchas analíticas). De hecho, hay muchos indicadores (ej. % de profesorado numerario respecto al total de la Química, número medio de sexenios concedidos por la CENAI, etc.), que demuestran avances incontestables. El problema radica en la concepción de la Química Analítica.

La Química Analítica se puede definir escuetamente con tres aproximaciones simples y complementarias entre sí²: a) Es la disciplina que asume la responsabilidad del Análisis, que es, además de la Teoría y la Síntesis, el tercer componente básico de la Química, diferenciado nítidamente de la faceta aplicada de la Química; b) Es la disciplina cuya diana es la generación de información (bio)química; c) Es la disciplina de las medidas (bio)químicas y, por tanto, es la disciplina de la Química relacionada directamente con la metrología en (bio)química³. De la conjunción de estos enfoques básicos se deducen otras definiciones más elaboradas y convencionales, cuyo desarrollo rebasa los propósitos de este discurso.

² R. Kellner, J.M. Mermet, M. Otto, H.D. Widmer, M. Valcárcel. “Analytical Chemistry” (2nd edition), Wiley-VCH, Weinheim, 2004.

³ M. Valcárcel. “Principles of Analytical Chemistry”. Springer-Verlag, Heidelberg, 2000. pp. 1-35.

Son dos los *finés* de la Química Analítica: 1) Alcanzar la máxima calidad metrológica (máxima exactitud, y/o mínima incertidumbre); y 2) Resolver problemas analíticos, es decir, alcanzar la satisfacción informativa del cliente que demanda la información.

Por otra parte, la Química Analítica tiene *objetivos mayorizantes*, los cuales pueden resumirse en la búsqueda de información analítica más amplia y de mayor calidad, y también *objetivos minorizantes*, que se resumen en el empleo de menos material, menor tiempo, menores esfuerzos humanos, menos costes y menos peligros para el operador y medioambiente (ej. métodos “verdes” o “limpios” de análisis).

Uno de los aspectos clave de la Química Analítica es la *contradicción tanto entre los dos fines entre sí como entre los dos objetivos*, que conducen a decisiones que son compromisos bien establecidos entre la calidad y la resolución del problema analítico y entre los objetivos mayorizantes y minorizantes. No puede tener el mismo enfoque la determinación de la humedad de un pienso que la determinación de la ley de una partida de oro de importación. Estos *compromisos de calidad analítica* son la esencia de la relación entre la teoría y la práctica en la Química Analítica.

Los *estándares básicos* en Química Analítica han sido desde hace siglos los patrones de medida (medir es comparar) y los estándares escritos (ej. métodos oficiales de análisis). A ellos debe añadirse un tercer estándar frecuentemente olvidado: la información requerida por el cliente con todas sus características y el conocimiento del fin con el que se van a emplear. También puede observarse la integración de los conceptos de calidad en la Química Analítica relacionada con sus respectivas referencias.

La *calidad analítica* se mide a través de los indicadores de calidad, que en este contexto se denominan propiedades analíticas. Hasta 1993 no han tenido un tratamiento sistemático y conjunto. La calidad de los resultados analíticos se mide a través de la exactitud y representatividad, siendo ambas propiedades

máximas independientes e indispensables. Estas propiedades máximas se fundamentan en las cuatro propiedades básicas: precisión, selectividad, sensibilidad y robustez, que son indicadores de calidad del proceso analítico de medida. Las propiedades productivas (rapidez, bajos costes y riesgos) son características del proceso analítico, que pueden llegar a ser más importantes que las propiedades máximas y básicas, lo que supone una rotura de los paradigmas mejor establecidos en la Química Analítica.

3.- LA INFORMACIÓN (BIO)QUÍMICA⁴

La *información* ha sido un aspecto esencial de la sociedad y la economía en la transición de los siglos XX y XXI. Así, se considera: a) Un elemento básico en I+D+I, b) El “cuarto poder” de la sociedad, además de los poderes clásicos: judicial, legislativo y ejecutivo); y c) El cuarto componente de una economía moderna, además de los clásicos: capital, materias primas y trabajo.

No obstante, la importancia de la información ha sido sobrepasada por el denominado *conocimiento*, cuya gestión se considera una clave económico – social en el siglo XXI, como reconoce la Unión Europea en la Declaración de Lisboa. Obviamente el conocimiento se basa en la información. Su definición así lo indica: “conjunto de experiencias, saberes, valores, información en contexto, percepción e ideas que crean determinada estructura mental en el(los) sujeto(s) para evaluar e incorporar nuevas ideas, saberes y experiencias”⁵

La Química Analítica es una disciplina informativa ya que su principal resultado o producto (“*output*”) es la información de tipo químico y/o bioquímico sobre objetos y sistemas naturales o artificiales. Esta información (bio)química se va a contextualizar en la secuencia datos-información-conocimiento-imaginación, a definirse, a describir sus diferentes tipos según criterios clasificatorios

⁴ E. Aguilera-Herrador, M. Valcárcel. *Anales de Química*, enero 2011, en prensa.

⁵ “Guía práctica de gestión del conocimiento”. 2008. UNE 412001 IN, AENOR.

complementarios, a constatar su evolución y, finalmente, a remarcar su responsabilidad social.

3.1.- Contextualización

Existe un planteamiento jerárquico entre los datos, la información y el conocimiento. Los *datos primarios* son componentes informativos directos de la realidad (objetos, hechos) tangibles o intangibles. Mediante su compilación y cálculo se obtiene la *información*, que supone la descripción de la realidad. Mediante el procesado e interpretación de la información se alcanza el *conocimiento*, que tiene dos connotaciones: la comprensión e interpretación de la realidad y la toma de decisiones fundamentadas y a tiempo.

En tiempos de crisis (no sólo económica, sino de ideas, de estancamiento intelectual, etc.) Einstein asegura que sólo la *imaginación* es más importante que el conocimiento (intelecto)⁶. Es todo un reto lanzado hace casi un siglo que sigue plenamente vigente tanto en ciencia y tecnología como en economía y en política. No cabe duda que un futuro prometedor pasa por la rotura de las “fronteras” actuales del conocimiento, la implantación de nuevos paradigmas, la búsqueda de relaciones sinérgicas entre áreas dispares, etc.

3.2.- Definición

Al mencionar la información (bio)química debe aclararse que, por una parte, al ser el Análisis el tercer componente básico de la Química, existe por tanto una equivalencia entre información “(bio)química” y “analítica” y, por otra parte, que se distingue análisis químico y/o bioquímico dependiendo de la naturaleza del analito (ej. cloruros o proteínas) de la muestra (suelo o líquido encefalorraquídeo) y las herramientas utilizadas en el proceso analítico (ej. reactivo orgánico y enzimas inmovilizadas).

⁶ A. Einstein, en Wikiquote La colección libre de citas y frases célebres. http://ees.wikiquote.org/wiki/Albert_Einstein.

La información (bio)química se emplea para describir objetos o sistemas naturales y/o artificiales con el fin de comprender procesos y mecanismos, para apoyar a la I+D+I interdisciplinar y, en definitiva, para tomar decisiones fundamentadas y eficientes en ámbitos científicos, técnicos, económicos y sociales.

En la adaptación de la secuencia datos-información-conocimiento al contexto (bio)químico, los eslabones de esta secuencia toman nombres específicos. Los datos primarios son *señales* ópticas, eléctricas, másicas, térmicas, etc., que proporcionan los instrumentos de medida en la segunda parte del proceso analítico. Los denominados *resultados* analíticos proceden de la compilación y tratamiento de los datos primarios (señales). Por último, los *informes* corresponden al conocimiento que contextualizan e interpretan la información (bio)química, formulan hipótesis, establecen mecanismos y hace que se tomen decisiones fundamentadas y a tiempo.

La aportación final de Einstein es totalmente aplicable al campo de la Química, ya que podrían describirse épocas de “sequía” en originalidad que han alcanzado un punto de inflexión gracias a la imaginación de algunos químicos privilegiados. No es el lugar para una descripción de este tipo, pero una “historia” de la Química estructurada en rotura de fronteras/paradigmas sería de gran interés para las nuevas generaciones de jóvenes científicos.

3.3.- Tipos

Para ofrecer una panorámica de los diferentes tipos de información (bio)química se van a usar tres clasificaciones complementarias no excluyentes⁷.

⁷ M. Valcárcel, B.M. Simonet, *Trends Anal. Chem.*, 2008, 27, 490-495.

Según la *primera clasificación*, los resultados pueden ser discriminados por analito (un analito – un resultado), lo que ocurre generalmente si en el proceso analítico está involucrada una separación cromatográfica, electroforética o se trata de un proceso muy selectivo. Pero es creciente el interés por los denominados “índices totales”⁸, que se definen como mesurandos que describen un grupo de especies (bio)químicas (analitos) que tienen una naturaleza/estructura similar (ej. grasas, polifenoles, PAHs, PCBs, etc.) y/o muestran un comportamiento operacional similar (ej. adulterantes, disruptores del endocrino, antioxidantes, etc.). Más del 50% de la información requerida actualmente para tomar decisiones es de estas características.

La naturaleza de los resultados es el criterio que se utiliza para la *segunda clasificación* y definir así una doble serie de los mismos: los ordinarios o típicos y los no convencionales o atípicos. Los resultados ordinarios son de tipo cuantitativo y cualitativo. Los resultados cuantitativos son datos numéricos que reflejan la concentración/cantidad de analito, que deben acompañarse por el intervalo de incertidumbre (ej. contenido proteico en leche 12.3 ± 0.2 g/L). La respuesta binaria (SÍ/NO) correspondiente al análisis cualitativo se ha revitalizado como consecuencia de que este tipo de información es muy demandada por los clientes para tomar decisiones. Es curioso que el análisis cualitativo (ej. marchas sistemáticas) fue uno de los argumentos principales para minusvalorar a la Química Analítica en el pasado, mientras que ahora supone, por una parte, una proporción considerable de la información (bio)química demandada y, por otra, un reto para lograr su fiabilidad.

Es creciente el amplio número de resultados no convencionales o atípicos surgidos de las demandas informativas económico-sociales que precisan de un soporte científico-técnico básico. A continuación se van a describir dos de los más característicos. Los *parámetros definidos por el método aplicado* (MDP: Methods Defined Parameters)⁹ se emplean con frecuencia en el laboratorio de

⁸ J.R. Baena, M. Gallego, M. Valcárcel. *Trends Anal. Chem.*, 2003, 22, 641-646.

⁹ B.M. Simonet, B. Lendl, M. Valcárcel. *Trends Anal. Chem.*, 2006, 25, 520-527.

rutina y han sido objeto de escasa atención en I+D. Pueden definirse como mesurandos (parámetros) que sólo se pueden obtener utilizando un detallado protocolo de un método analítico, que generalmente es un proceso para generar un resultado (parámetro) que responde a una demanda informativa bien definida sobre un(unos) mismo(s) analito(s) en el mismo tipo de muestra en una determinada área. Son ejemplos característicos: “fracción de material extraíble con hexano”, “amargor en cervezas”, “elementos asimilables en suelos” o “metales que pueden desprenderse de una chatarra”. El mismo resultado (parámetro) no se obtiene mediante la aplicación de otro método y no se basa en patrones, salvo materiales de referencia certificados (MRC) preparados con este propósito. La mayoría de los MDP son índices totales expresados de forma cuantitativa (ej. 0.4 mg/Kg de fenoles totales en aguas, 0.02 mg/L de hidrocarburos en aguas) o pueden ser números empíricos (ej. amargor en cervezas) y también pueden ser transformados en respuesta binaria SÍ/NO si se establece un límite legal permitido.

Los *marcadores* son sustancias de notable interés en la Química Analítica actual debido a su impacto en la información requerida para tomar decisiones correctamente más allá de lo convencional¹⁰. Son interesantes sus relaciones contradictorias y complementarias con otras palabras clave, tales como trazadores, indicadores, índices, etc. Pueden desarrollarse muchas clasificaciones de marcadores en Química Analítica basadas en criterios complementarios, tales como: el fin para el que van a utilizarse, su naturaleza, composición, origen, concentración y campo de aplicación. De todas ellas, las más relevantes son las que se refieren al uso (interno y externo respecto a la Química Analítica) y a su naturaleza radioactiva o no radioactiva. Así, se usan marcadores internos para mejorar la metodología analítica (ej. estándares internos en GC o el marcador cero para determinar el flujo electroosmótico en electroforesis capilar (EC)), pero el empleo mayoritario de la palabra marcador se hace con fines informativos extrínsecos (ej. marcadores de tumores cancerosos, marcadores en saliva para heroína o cocaína, etc).

¹⁰ J.R. Baena, M. Gallego, M. Valcárcel. *Trends Anal. Chem.*, 2002, 21, 878-891.

La *tercera clasificación* se fundamenta en la calidad requerida a los resultados solicitados. Existen dos tipos de información química: a) La denominada ordinaria corresponde a los resultados generados en laboratorios de rutina medioambientales, industriales, clínicos, agroalimentarios, etc.; y b) La información de alto nivel científico-técnico de gran calidad, que corresponde a los resultados proporcionados por procesos analíticos multietapa con instrumentación sofisticada y cara, que generalmente están especializados e inmersos en departamentos de I+D+I de empresas públicas o privadas.

La evolución casi frenética de las actividades sociales y económicas ha propiciado una demanda de información creciente (casi asfixiante) de información (bio)química sobre objetos y sistemas. En este contexto, la calidad de la información (bio)química crece desde la generada por los laboratorios de rutina a la que producen los especializados, pero la frecuencia de las demandas informativas decrece en el mismo sentido. En casos especiales, hay que buscar un compromiso entre la calidad informativa y la rapidez con que debe producirse.

3.4.- Evolución

La evolución de la información química y (bio)química de rutina se materializa en las siguientes tendencias, que no son únicas ni excluyentes, sino las que se consideran más relevantes a resaltar:

1. *Simplificación.* Es de prever un aumento de la información más simplificada y útil, ya que la generada habitualmente está sobredimensionada y una gran parte de ella no se usa. Esta tendencia es de gran significación práctica, ya que aproximadamente un 40-50% de la información (bio)química generada por los laboratorios de rutina no se emplea para tomar decisiones, pero, eso sí, se archiva cuidadosamente para las auditorías de calidad (UNE-ISO 18025), que no cuestionan la utilidad de los resultados generados.

2. *Análisis cualitativo*. Las respuestas binarias se han revitalizado como consecuencia de las demandas informativas de los clientes, que visualizan esta información más útil para tomar decisiones rápidas y a tiempo respecto a la información cuantitativa clásica. El problema de esta respuesta cualitativa es su fiabilidad, ya que no pueden producirse falsos negativos.

3. *Índices totales*. Un resultado puede corresponder a un conjunto de analitos con estructura y/o comportamiento común. Es un tipo de información genérica muy diferente a la clásica (que es cuantitativa y diferenciada por analito). El concepto tradicional de una propiedad analítica clave, como es la selectividad, cambia de enfoque y paradigma en este contexto.

4. *Importancia de propiedades productivas*. El cambio más importante que se ha producido respecto a la información (bio)química clásica nace de la consideración de las propiedades analíticas en su conjunto y teniendo en cuenta sus relaciones complementarias y contradictorias, que pueden ser tan o más relevantes que cada propiedad considerada de forma aislada¹¹. Al ser las propiedades máximas (y por ende las básicas) contradictorias respecto a las productivas, es importante que el problema analítico opte por un compromiso entre las contradicciones de los fines y objetivos de la Química Analítica, de tal forma que se tenga en cuenta el estándar químico-analítico frecuentemente olvidado: la información requerida con todas sus características. Un ejemplo de prevalencia de las características productivas (ej. rapidez, comodidad, etc.) frente a las máximas (ej. exactitud) lo constituyen los “*point-of-care-testing*” (POCTs), siendo el más conocido de ellos el glucosímetro portátil, que permite el control “casero” de la glucosa en sangre y evita así las esperas en los laboratorios clínicos de los enfermos diabéticos.

5. *Empleo de enfoques más positivos al transmitir la información(bio)química*. En general, el químico (a diferencia de otras profesiones) tiende a enfatizar las connotaciones negativas al ofrecer la información (bio)química. Tal es el caso

¹¹ M. Valcárcel, A. Ríos. *Anal. Chem.*, 1993, 65, 781A-787A.

del empleo de “incertidumbres” (heredado de la metrología física) asociado a los datos cuantitativos. Esta palabra puede causar interpretaciones equivocadas en los receptores de la información (economistas, funcionarios, gestores, jueces, etc.), que interpretan que el dato químico tiene asociada una duda y, por tanto, no es fiable. Si se sustituye el término “incertidumbre” por el de “intervalo de confianza”, que técnicamente tiene el mismo sentido, éste será mucho mejor aceptado e interpretado por los clientes no expertos. Igual ocurre al denominar como falsos positivos y falsos negativos los errores de la respuesta binaria. Es obvia la necesidad de una revisión terminológica de la información (bio)química para sustituir palabras con connotaciones negativas por otras que enfatizen aspectos positivos, aunque tengan igual significado.

3.5.- Responsabilidad social

La responsabilidad social de la Química Analítica está relacionada directamente con el *impacto que la información (bio)química* generada en los laboratorios de rutina o sistemas “in situ” pueda originar en la sociedad en general, y en el medio ambiente en particular. Esta responsabilidad nace de la necesidad de suministrar la información (bio)química necesaria y fiable para tomar las decisiones fundamentadas y a tiempo en ámbitos muy diversos como son salud, industria, agroalimentación, medio ambiente, etc., lo que confiere una responsabilidad transversal interárea.

La primera responsabilidad se relaciona con la *calidad de la información (bio)química* suministrada que debe ser lo más cercana tanto a la información verdadera (en el plano metrológico) como a la requerida por el cliente (en el plano de resolución de problemas) en el contexto de los compromisos de calidad ya mencionados. Ello implica la necesidad ética de desarrollar correctamente los procesos de laboratorio y del empleo de herramientas analíticas (instrumentos, aparatos, reactivos, materiales de referencia, etc.) de la mayor calidad posible. Un aspecto interesante a resaltar en este contexto es la doble responsabilidad de la Química Analítica en el desarrollo sostenible del planeta; por una parte suministrar información (bio)química fiable para

monitorizar entornos medioambientales y así controlar su calidad; y por otra, el desarrollo de procesos limpios de análisis¹², es decir, minimizando o evitando el empleo en los procesos analíticos de disolventes, reactivos, gases etc. contaminantes.

El impacto es más notorio si se *suministra conocimiento* a la sociedad a partir interpretación y contextualización de la información (bio)química, ya que es mucho más directamente asimilable por la sociedad que una información sofisticada y técnica. En una sociedad donde los medios de comunicación tienen un papel cada vez más relevante, es una gran tentación buscar titulares que pueden ser sujetos a una interpretación sesgada y originar un efecto de notoriedad provocando la alarma de la población basada en extrapolaciones poco fundamentadas y el levantamiento de falsas expectativas. Los gabinetes de prensa de los organismos públicos y privados de I+D+I así como los responsables de los laboratorios analíticos tienen la seria obligación de controlar la transferencia de información y conocimiento de forma compatible con su responsabilidad social.

4.- LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN (BIO)QUÍMICA

La información analítica se puede clasificar según el nivel de calidad en cinco tipos, que se comentan a continuación.

1. La *Información verdadera*, que es la información intrínseca del objeto o sistema en estudio y es inasequible para los analistas. Corresponde a la veracidad y no tiene incertidumbre asociada.

2. La *Información referencial*, que es la información especial asociada a los estándares de referencia más conocidos: los patrones de medida (materiales de referencia). En general, se trata de información de alta calidad, fruto de

¹² S. Armenta, S. Garrigues, M. de la Guardia. *Trends Anal. Chem.*, 2008, 27, 497-511.

experimentación no rutinaria, compleja y cara desarrollada en ejercicios interlaboratorio gestionados por una entidad independiente de reconocido prestigio internacional. Tal es el caso de los MRC, que tienen certificada determinada información. Uno de los problemas más acuciantes de la Química Analítica es que sólo están cubiertas del 3 al 5% de las necesidades de patrones, por lo que hay que recurrir a otras estrategias (ej. calibración mediante el método de la adición estándar). Este tipo de información es la que se considera como la verdadera en la práctica.

3. La *Información rutinaria*, que es la generada por los laboratorios de rutina o por los crecientes sistemas “in situ” fuera del laboratorio.

4. La *Información requerida*, que es la que precisa el cliente o destinatario de la información para tomar decisiones fundamentadas y a tiempo. Es el tercer estándar básico de la Química Analítica, frecuentemente olvidado, pero que es clave teniendo en cuenta sus fines y objetivos.

5. La *Información percibida* por el usuario, que puede ser igual, superior o inferior a la esperada. Por ejemplo, si se requiere conocer la concentración de mercurio y se ofrece no sólo el mercurio total sino la concentración diseminada de las especies del mismo (ej. mercurio inorgánico, metilmercurio, fenilmercurio, etc.), el usuario quedará sobre-satisfecho, ya que podrá tomar decisiones más fundamentadas en el ámbito de la contaminación medioambiental.

Las relaciones entre los cinco tipos de información constituyen el aspecto más relevante¹³. Una explicación detallada de las mismas cae fuera del ámbito de este discurso.

¹³ M. Valcárcel, A. Ríos. *Trends Anal. Chem.*, 2000, 19, 593-598.

Pero los aparentes conflictos entre los tipos de información (bio)química deben generar *sinergias* para una mejora integral de la calidad. Estas sinergias pueden generarse por diez vías complementarias no excluyentes, tales como:

- 1) Reconocer explícitamente una mayor flexibilidad para abordar metrologicamente las medidas (bio)químicas introduciendo en los documentos oficiales aproximaciones adecuadas a la práctica de la Química;
- 2) Aceptar en el ámbito metroológico como resultados las respuestas binarias, los índices totales y los parámetros definidos por el método, además de los resultados cuantitativos;
- 3) Abordar distintas alternativas más prácticas para el cálculo de las incertidumbres en los procesos (bio)químico-analíticos;
- 4) Diferenciar entre la incertidumbre de un resultado cuantitativo del de la respuesta binaria;
- 5) Usar palabras cualificativas sin connotaciones negativas que puedan malinterpretarse por los usuarios, de acuerdo con la opinión de Thomas¹⁴;
- 6) Emplear sistemáticamente la certificación de instrumentos usados en las medidas (bio)químicas, que es una práctica usual en metrología física;
- 7) Dedicar recursos de I+D+I para el desarrollo de MRC para el mayor número posible de pares “muestra (matriz) – analito (mesurando)”;
- 8) Explotar las posibilidades que ofrece la norma ISO 17025:2005, que contiene los requisitos de gestión y técnicos para acreditar laboratorios, al objeto de buscar nexos de unión entre la metrología y la resolución de problemas; de ahí, por ejemplo, la coherencia entre el “servicio al cliente”

¹⁴ J.D.R. Thomas, *Analyst*, 1996, 121, 1519.

(requisito de gestión 4.7 de la norma ISO 17025) y la “validación de métodos” (requisito 5.4 de la ISO 17025);

9) Considerar que la Química Analítica no empieza en las puertas del laboratorio ni puede terminar en un “boletín de resultados”. Por una parte, es necesaria su participación en el diseño del muestreo y, por otra, debe ser co-responsable de la generación del conocimiento (interpretación de los resultados); y

10) Cambiar la mentalidad de las personas que están a cargo de la metrología y de los análisis (bio)químicos de rutina, que deben tener una actitud permeable y buscar los puntos de enriquecimiento mutuo más que enfatizar los que son aparentemente divergentes.

5.- LOS RETOS DE LA GENERACIÓN DE LA INFORMACIÓN (BIO)QUÍMICA

Se comentan a continuación aquellos aspectos que suponen *desafíos* para los que se dedican a suministrar información (bio)química de calidad. Se han obviado los potenciales desarrollos de herramientas tangibles (ej. instrumentación, reactivos, etc.) para simplificar el discurso.

1. El *balance fundamentado entre la metrología y la resolución de problemas en cada tipo de demanda informativa*, como ya se ha comentado.

2. La *información de objetos/sistemas lejanos al nivel macroscópico ordinario*. Del análisis destructivo (o no) de objetos/sistemas de tamaño coherente con la realidad humana (ej. análisis de alimentos, control de la contaminación instrumental, análisis clínicos, etc.) al análisis de objetos/sistemas inasequibles directamente para el hombre. Son ejemplos representativos la materia nanoestructurada y todos los aspectos relacionados con el espacio exterior a la tierra. Ambos se comentan sucintamente a continuación.

El *análisis del nanomundo* es un verdadero reto para la Química Analítica. Se trata de un área en la que la extracción de la información de la materia nanoestructurada debe tener un planteamiento multidisciplinar¹⁵. Hay que tener en cuenta el triple enfoque que puede tener la información de la misma. La información puede ser de tres tipos: física (la más desarrollada), química y bioquímica-biológica. Son necesarios muchos esfuerzos en el ámbito (bio)químico para lograr información fiable. La nanometrología (física y química) es una asignatura pendiente en este contexto. La tendencia actual es la utilización de forma simultánea de tecnologías informativas físicas (ej. microscopio de fuerzas atómicas, AFM) y químicas (ej. espectroscopio de infrarrojo y Raman, electroquímica). Ya existen instrumentos comercializados AFM-Raman y es de esperar un gran auge en este campo, dada la importancia e impacto creciente de la nanotecnología.

La extracción de información *relacionada con el espacio exterior* a la tierra constituye un reto importante en el otro extremo pendular del nanomundo. Aquí se precisan instrumentos miniaturizados que requieran poca energía y un mantenimiento casi nulo. En este contexto pueden contemplarse tres planteamientos: A) Análisis (espectroscópico) remoto desde vehículos espaciales en órbita. Son ejemplos característicos el empleo de un espectrómetro miniaturizado de rayos X en el vehículo "Messenger" de la NASA (USA)¹⁶ y un espectrómetro de masas miniaturizado (0.5 Kg) para analizar el polvo cósmico¹⁷; B) Análisis desde robots situados en superficies de los planetas en estudio. Tal es el caso de los esfuerzos realizados para confirmar la presencia de agua en Marte o el diseño de un espectrómetro de masas con ionización de la muestra por láser, que es parte del programa MOMA; C) Control (a través de la monitorización) de las atmósferas interiores y exteriores de los vehículos espaciales en órbita, para lo que se han diseñado tubos multisorbentes y estándares de gases para la calibración instrumental.

¹⁵ M. Valcárcel. "Los nanotubos de carbono como objetos y herramientas en la Nanociencia y Nanotecnología analíticas". Discurso leído el 26 de mayo. 2010. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid. ISBN: 0214-9540.

¹⁶ C.E. Schlemm et al., *Space Sci. Rev.*, 2007, 131, 393-415.

¹⁷ D.E. Austin, T.J. Ahrens, J.L. Beauchamp. *Rev. Sci. Instrum.*, 2002, 73, 185-189.

Un desarrollo detallado de la evolución y del estado actual del tema desborda los límites de este discurso.

3. La *rotura de las fronteras tradicionales del laboratorio (bio)químico*. Este enfoque puede tener dos interpretaciones complementarias:

a) Tal como se ha indicado anteriormente, la información (bio)química a suministrar sobre objetos y sistemas no puede centrarse exclusivamente en el proceso analítico, sino que debe enmarcarse primero en la resolución de problemas de demanda de información (bio)química. Esto implica tanto la participación en el muestreo (que es ya un requisito de la norma ISO 17025:1999) al menos en su diseño y control, y también que la generación de conocimiento a partir de los resultados tenga un planteamiento multidisciplinar, donde la opinión (bio)química tenga el peso que le corresponda para la interpretación, contextualización y toma de decisiones.

b) Otra tendencia que se está imponiendo es el denominado análisis “on site” con sistemas autoanalizadores que generan los datos que acumulan, los impriman o los envíen al laboratorio central. En el ámbito industrial, el seguimiento “in situ” de procesos se puede realizar “in line” y “on line”. En el ámbito clínico se utilizan los sistemas POCTs¹⁸ ya comentados. En otros ámbitos toman diferentes denominaciones. En este contexto, los verdaderos sensores (ej. electrodo de pH) tienen un gran porvenir. El problema no es que se suministren datos, sino que éstos se correspondan a la realidad. Dos puntos débiles a superar son tanto la autocalibración como la fiabilidad de los resultados.

4. Las *estrategias de vanguardia – retaguardia* desarrolladas por nuestro grupo de trabajo¹⁹. Se basan en el hecho de que la demanda de información (bio)química está creciendo de forma espectacular en los últimos años. Consecuencia de ello es que los laboratorios de análisis no están capacitados

¹⁸ E. Aguilera-Herrador, M. Cruz-Vera, M. Valcárcel. *Analyst*, 2010, 135, 2220-2232.

¹⁹ M. Valcárcel, S. Cárdenas. *Trends Anal. Chem.*, 2005, 24, 67-74.

para responder con fiabilidad y a tiempo a esta demanda creciente. Por ello, es imprescindible un nuevo enfoque o estrategia tanto para minimizar el impacto negativo del tratamiento de muestra como para alcanzar los compromisos de calidad antes mencionados.

Los *sistemas de vanguardia* son, en realidad, sistemas de criba o “*screening*” que están bien definidos y ampliamente usados en muchas áreas, donde se necesita información rápida para tomar decisiones. Son características de los mismos: Simplicidad Rapidez y Bajo costo. Generalmente ofrecen resultados binarios, índices totales, parámetros definidos por el método, etc.

Los *sistemas de retaguardia* son sistemas analíticos que llevan a cabo el proceso analítico convencional. Se caracterizan por: 1) Operaciones preliminares (ej. disolución, extracción en fase líquida y sólida, cambio de disolvente, etc.) exhaustivas, lentas y requieren una amplia participación del operario; 2) Empleo de instrumentación sofisticada y cara tanto en su adquisición como en el mantenimiento (ej. hibridaciones instrumentales entre cromatógrafos de gases o de líquidos y sistemas de electroforesis capilar con espectrómetros de masas, espectrómetros atómicos, etc.); 3) Proporcionan niveles de sensibilidad y, sobre todo, de selectividad que confieren al resultado una elevada exactitud; 4) Uso de sistemas potentes de toma (de miles de datos) y tratamiento de datos para ofrecer la respuesta requerida; y 5) Son procesos analíticos lentos y caros, pero ofrecen resultados (generalmente cuantitativos y discriminados por analitos) de alta calidad (ej. exactitud).

En realidad, el sistema de vanguardia actúa como selector de muestras-diana (ej. nivel de toxicidad superior al permitido). Son estas muestras las que se someten al sistema analítico de retaguardia, que ofrece resultados clásicos (cuantitativos y asignables a cada analito) de gran calidad. Estos resultados pueden usarse con tres fines complementarios: confirmación de la respuesta del sistema de vanguardia, ampliación informativa y control de calidad.

6.- EL SISTEMA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA ANALÍTICA

Desde mi punto de vista, la Convergencia de España hacia un Espacio Europeo de Educación Superior ha supuesto una gran decepción por la manera equivocada de enfocarla desde la declaración de Bolonia en el año 1999. Mi diagnóstico es simple. En *primer lugar*, la dedicación a la formación e implicación del profesorado ha sido casi inexistente durante los diez años de preparación; se ha olvidado sistemáticamente el factor humano. En *segundo lugar*, por el cambio permanente de rumbo causado porque cada equipo ministerial (ha habido al menos cuatro en los once años (1999-2010)) ha querido imponer sus propias ideas con cambios que han desconcertado al mundo universitario. En *tercer lugar*, se ha confundido la Convergencia Europea con cambios del sistema de enseñanza-aprendizaje que tienen poco o nada que ver con el modelo común. En *cuarto lugar*, se ha puesto más énfasis en lo administrativo-burocrático que en un auténtico cambio cultural. Un resultado tangible de todo ello ha sido la calidad de las propuestas de Títulos de Grado y Máster y su primer año de desarrollo, que son claramente mejorables; eso sí, con algunas notables excepciones. Los burócratas han ganado esta primera batalla en los dos últimos años acelerada por el retraso acumulado, pero espero que no la guerra. Ahora me preocupa el enfoque que se le está dando al proceso de seguimiento y acreditación, ya que se están produciendo los mismos defectos que en el diseño de los Títulos.

La Química Analítica como disciplina académica debe sufrir también grandes cambios de enfoque para modernizar su sistema de enseñanza-aprendizaje. A continuación se comentan algunos aspectos puntuales que, a mi entender, son necesarios. Algunos son comunes a otras disciplinas y otros son específicos de la filosofía que subyace en la Química Analítica.

6.1.- Algunos cambios genéricos

1.- *Cambio de roles del estudiante y el profesor.* El nuevo sistema de enseñanza-aprendizaje exige un estudiante activo y un profesor que debe abandonar sus actitudes tradicionales y adquirir nuevas aptitudes para afrontar un nuevo escenario docente/discente.

2.- *Papel predominante del estudiante y sus intereses.* De ser un “mero accidente necesario”, el estudiante debe pasar a ser el mayor protagonista del sistema educativo universitario. El aprendizaje debe predominar sobre la enseñanza, en base a la gestión integral (selección, distribución, evaluación y metaevaluación) de las competencias transversales y específicas en los Títulos. Se ha logrado un gran avance en este contexto al publicarse en el BOE (31/12/2010) el Estatuto del Estudiante Universitario.

3.- *Formar teórica y prácticamente al profesorado en competencias transversales y específicas.* No es posible transmitir y evaluar las competencias de los estudiantes sin que el profesorado las posea y domine. Es un objetivo clave sistemáticamente olvidado en el proceso.

4.- *Desburocratizar los cambios implantados al evolucionar el sistema educativo.* Los cuadros de transformación de los “créditos españoles” a los europeos (ECTS) y las tablas de doble entrada de materias-competencias de un Título son el refugio perfecto para los refractarios al cambio, ya que permiten montar fachadas que logran pasar los filtros internos universitarios y de las Agencias de Calidad. Al final predomina, lamentablemente, la tendencia de seguir con el mismo sistema de toda la vida, pero aparentado cambio y adaptación.

5.- *Valorizar adecuadamente la dedicación docente del profesor.* Hasta hace poco la docencia ha sido la “cenicienta” del sistema universitario. Su revaloración pasa por una evaluación fundamentada y fiable (ej. Programa Docencia) y por un reconocimiento de las actividades docentes en equivalencia

con otras actividades, como la investigación. Sin que las actividades docentes sean plenamente reconocidas y recompensadas no es posible alcanzar el cambio en el sistema de enseñanza-aprendizaje. Los borradores del imprescindible Estatuto del PDI pasan de un equipo ministerial a otro como “patatas calientes” sin que nadie se atreva a publicarlo.

6.- *Reducir los contenidos teóricos para abrir ventanas temporales a actividades poco comunes, tales como seminarios, estudio de casos, resolución de problemas, etc.* Ello supone un gran esfuerzo por parte del profesor, ya que sus “apuntes” son mayoritariamente inservibles. Hay que preparar la materia “destilando” lo esencial para las clases teóricas, complementando el mensaje docente con las otras actividades y abandonando el material docente obsoleto o excesivamente sofisticado e inadecuado para un determinado nivel del estudiantado.

7.- *Gestionar de forma coherente la dedicación del profesorado*, abandonando los distorsionantes 24 créditos de docencia como única referencia. El non-nato Estatuto del PDI podría aportar mucho valor en este aspecto.

8.- *Reconocer plenamente la dirección de trabajos Fin de Máster y de Tesis Doctorales como actividades docentes* en el ámbito de enseñar a investigar y evitar las “descargas docentes” por dirección de tesis doctorales que actualmente se aplican en muchas universidades españolas.

Todos estos aspectos, y otros no mencionados por falta de tiempo, implican cambios de calado que sólo se han materializado muy parcial y precariamente en el momento oportuno (año 2010). Con una perspectiva optimista, tengo la certeza que se irán implantando paulatinamente y, en un quinquenio, es posible que la mitad del profesorado universitario haya cambiado realmente su actitud y aptitud.

6.2.- Algunos cambios específicos en Química Analítica

Además de las propuestas genéricas anteriores, el sistema de enseñanza-aprendizaje de la Química Analítica debe evolucionar hacia un planteamiento más racional y moderno desterrando los malos hábitos que han sido endémicos en nuestra disciplina (como en otras). Se comentan a continuación los aspectos que se consideran más relevantes:

1. *Reducir la descriptiva dedicada a técnicas y métodos y ampliar la enseñanza-aprendizaje de los principios básicos de la Química Analítica.* La primera aproximación a la misma debería tener presente su carácter de disciplina informativa, así como describir los indicadores de calidad (propiedades analíticas) y sus relaciones entre sí, los tres tipos estándares, así como las generalidades sobre los procesos analíticos cualitativos y cuantitativos.

2. *Fomentar la existencia de una doble estrategia biunívoca “top-down” y “bottom-up”* entre la clásica descriptiva de técnicas y métodos y los principios básicos, que sea mutuamente enriquecedora.

3. *Diferenciar con claridad entre los fundamentos propios de la Química Analítica y los compartidos con otras disciplinas.* Los fundamentos propios están relacionados con palabras clave como metrología, trazabilidad, estándares y materiales de referencia, proceso analítico, problema analítico, etcétera. Los fundamentos compartidos son aquellos que la Química Analítica tiene en común con la Física, otras áreas de la Química, Matemáticas, Biología, Ingeniería, entre otras disciplinas.

4. *Seleccionar rigurosamente el contenido docente de cada materia de la Química Analítica.* Se debe evitar la inclusión de temáticas ya lejanas a la realidad práctica, así como soslayar la inclusión de temas candentes todavía no consolidados, con una tendencia genérica a la reducción de contenidos.

5. *Fomentar más la habilidad de la búsqueda de información sobre la descripción de técnicas, métodos, áreas de aplicación, etc. en las rígidas clases teóricas, que deben tener otro enfoque muy diferente al actual.*

6. *Utilizar los seminarios sobre “estudio de casos” y “resolución de problemas” como complementos ideales para fomentar las competencias transversales (TICs, trabajo en equipo, exposición oral, aprendizaje de lengua extranjera, etc.) y químico-analíticas específicas de los estudiante. Existen numerosos ejemplos de demandas de información (bio)química en áreas muy diversas (ej. salud, agroalimentación, medio ambiente, industria, etc.) que son una fuente inagotable para la preparación de estos seminarios que deben ser interactivos y grupales.*

7- CONCLUSIÓN

Termino este discurso parafraseando y adaptando a la Química la conclusión de Mario Vargas Llosa en su discurso de aceptación del Premio Nobel de Literatura pronunciado el día 7 de Diciembre de 2010: “... *La nuestra será siempre, por fortuna, una historia inconclusa. Por eso tenemos que seguir soñando, leyendo, (estudiando y experimentando), la más eficaz manera que hayamos encontrado de aliviar nuestra condición perecedera, de derrotar a la carcoma del tiempo y de convertir en posible lo imposible*”.

Pese a mi edad, este sigue siendo mi reto personal.