

CIENCIA  
PENSAMIENTO  
Y CULTURA

# *arbor*

VOLUMEN CLXXXII

Nº 718

marzo-abril [2006]

MADRID [ESPAÑA]

ISSN: 0210-1963



MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN  
Y CIENCIA



Consejo Superior  
de Investigaciones Científicas

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS**

**José Elguero**

*Doctor vinculado "ad honorem" del  
Instituto de Química Médica (CSIC).  
iqmbe17@iqm.csic.es*

**ABSTRACT:** *The article try to describe the present situation of chemistry in Spain as well as to point out to some possible developments.*

**KEY WORDS:** *Science policy. Chemistry. Pharmacy. Nanosciences. Energy. A Science City.*

**RESUMEN:** El artículo trata de describir la situación actual de la química en España apuntando algunos posibles desarrollos.

**PALABRAS CLAVE:** Política científica. Química. Farmacia. Nanociencias. Energía. La Ciudad de la Ciencia.

## 1. Introducción

La mayoría de los científicos perciben la política científica como un mal necesario. Y eso, en el mejor de los casos. Hoy día, para obtener un proyecto, un becario, una ayuda, hay que llenar muchos papeles, hacer mucho trabajo  $T$  y, lo que es lo peor, con una probabilidad de éxito  $P_E$  baja. La satisfacción  $S$  para el investigador es  $S = P_E/T$ .

Para aumentar  $S$ , lo cual debería ser el objetivo de todo gobernante, se puede aumentar  $P_E$ , disminuir  $T$ , o ambas cosas a la vez. Aumentar  $P_E$  supone aumentar los presupuestos dedicados a investigación (sobre repartirlos de otra manera, volveremos luego). Disminuir  $T$ , en principio, no supone gastos y es, por lo tanto, muy tentador. También sobre como disminuir  $T$  haremos alguna propuesta.

### 1.1. Repartirlo mejor

**1.1.1. Disminuir el número de peticionarios suprimiendo a los peores.** Proponen ciertas personas que si se lograra vaciar los centros de investigación de los malos científicos, habría que repartir el dinero entre menos personas y los restantes "tocarían a más" [1].

A mi esa propuesta me recuerda el test de madurez que se hace a los niños. Se les dice que en los accidentes de tren, el mayor número de víctimas tiene lugar en el vagón de cola. Se les propone como solución suprimir ese vagón.

Sólo a los más pequeños les parece una buena respuesta.

Yo he comparado la propuesta de dejar sin financiación a los peores grupos con la idea de disminuir el volumen de una montaña de arena recortando la base [2]. Es sabido que un montón de arena seca alcanza la forma de un cono estable cuando el ángulo (llamado ángulo de reposo) alcanza un valor de  $30^\circ$  aproximadamente. Si se quita arena del borde de la base, la arena se desliza y el cono baja de altura alcanzando una nueva configuración de equilibrio. Lo mismo pasa en ciencia: la altura del cono depende del diámetro de la base. Para tener científicos de excelencia hacen falta muchos científicos de base.

**1.1.2. El modelo chincheta frente al modelo pirámide** (Figura 1). Habiéndonos mostrado contrarios al modelo cilindro (poca base y mucha altura) quedan dos modelos estables: el "modelo pirámide" y el aún más estable "modelo chincheta".

Supongamos que disponemos de 165.000 € para 81 personas. Si los damos como un cono de arena (ángulo de reposo =  $30^\circ$ , aquí representado como un zigurat, Figura 2) entonces daremos 5 veces más al que más demos (una persona) que a los que menos demos (treintidós personas). Si los damos como una "chincheta" (Figura 3), entonces daremos 77.000 € a 77 personas, es decir 1000 €/persona, y 88.000 € a 4 personas, es decir 22.000 por €/persona. Con esta última política científica lograremos no ahogar a nadie y empujar resueltamente a los mejores grupos.

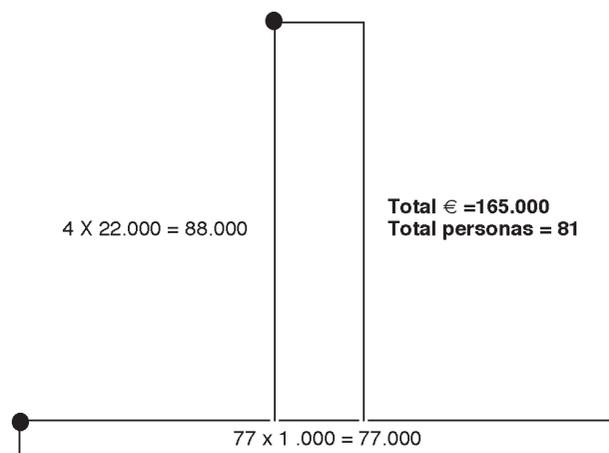
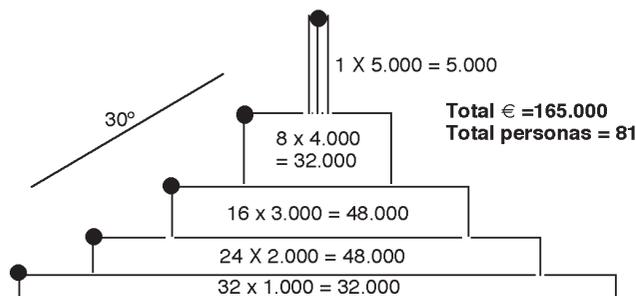


Figura 1. Dos distribuciones posibles de los fondos de investigación.

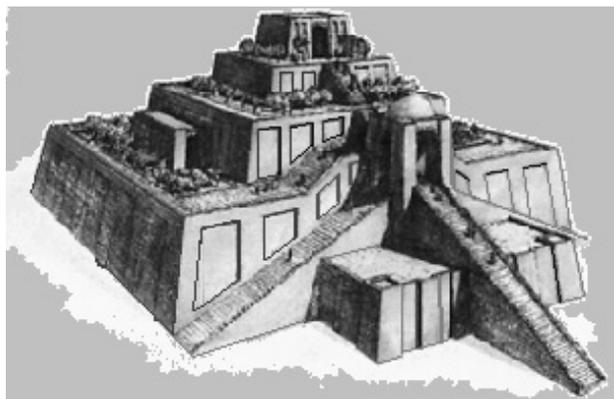


Figura 2. Un zigurat.



Figura 3. Chinchetas.

## 1.2. Cómo disminuir T

Una de las quejas más frecuentes de los investigadores está relacionada con la complejidad creciente de los documentos que tienen que rellenar. Cada vez las administraciones (autonómica, nacional, europea,...) piden más para luego olvidarlo, cada vez piden a los investigadores que realicen tareas (por ejemplo, incluir el índice de impacto de

sus publicaciones) que las administraciones podrían hacer fácilmente. O hacen preguntas absurdas: ¿país de publicación?, cuando todos los grandes grupos editoriales son multinacionales. Pero lo peor es que todos los formularios son diferentes y además cambian cada año.

Elijase un formulario idéntico para todas las administraciones y manténgase invariado durante cinco años. Si tiene defectos ¿qué documento no los tendrá?, que se anoten y al cabo de los cinco años, sáquese un formulario mejor, más sencillo.

La creación de una base de datos con el curriculum de cada investigador (sólo accesible a él y a la administración), actualizable anualmente evitaría mucho trabajo inútil. Es preferible que la costosa y cualificada mano de obra que representan los investigadores se dedique a investigar y no a llenar formularios.

## 2. FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLOGÍA: AMIGOS ENFRENTADOS

### 2.1. Carta a la Unión Europea

Todos creemos en la unicidad de la ciencia pero todos somos humanos. No le puedes decir a un biólogo molecular que no importa que le recorten sus recursos para poder pagar la cuota del CERN. Ni a un químico cuántico que tiene menos horas de superordenador por que unos biólogos necesitan calcular el plegamiento de una proteína. Somos amigos pero rivales. Competimos por fondos, por distinciones pero, sobre todo, por buenos alumnos.

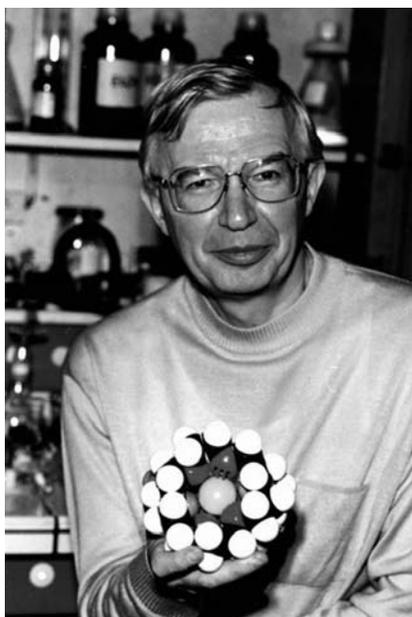


Figura 4. Foto de Jean-Marie Lehn, Premio Nobel de Química 1987.

Que la química está en crisis y que su supervivencia no está asegurada se deduce no sólo del olvido en que algunos colegas la tienen, aun que es significativo por lo eminentes que son. En mi caso, hay, al menos otra razón, de que realmente es así. Hace algún tiempo escribí al profesor Jean-Marie Lehn (Figura 4) para manifestarle mi preocupación con la situación de la química. Me contestó que los químicos franceses, miembros de la Academia de Ciencias, habían escrito una carta al Presidente de la República

manifestando la misma opinión, carta que me envió. Como tal, no convenía a todos los europeos así que otro académico, el profesor Bernard Meunier (acaba de ser nombrado Presidente del C.N.R.S.), la modificó y después de unos breves intercambios fue distribuida para ser firmada y dirigida a los presidentes de la Comisión Europea y del Parlamento Europeo. He aquí algunos extractos de dicha carta (traducidos del inglés):

La última década ha sido un período difícil para la química en Europa occidental. Muchas empresas químicas han cerrado y la decadencia de la química se considera hoy inevitable por la mayoría del público y los medios de comunicación [...] Como ciudadanos europeos no debemos olvidar que la industria química proporciona más de dos millones de puestos de trabajo constituyendo así una de las industrias claves en Europa.

Históricamente, Europa es el lugar de nacimiento de la química y su crecimiento ha precedido y estimulado un tremendo desarrollo de otras industrias en los siglos XIX y XX. La química está a menudo al servicio de otras industrias, es "la industria de las industrias". Ni coches modernos sin química, ni industria electrónica sin química, ni teléfonos móviles o televisión vía satélite sin química, ni aviones de última generación o viajes espaciales sin materiales compuestos y pegamentos eficaces, ni prótesis biocompatibles, ... etc. Ninguna de las características de la vida moderna existiría sin la química y, a pesar de ello, la percepción de la química es nula para la mayoría del público.

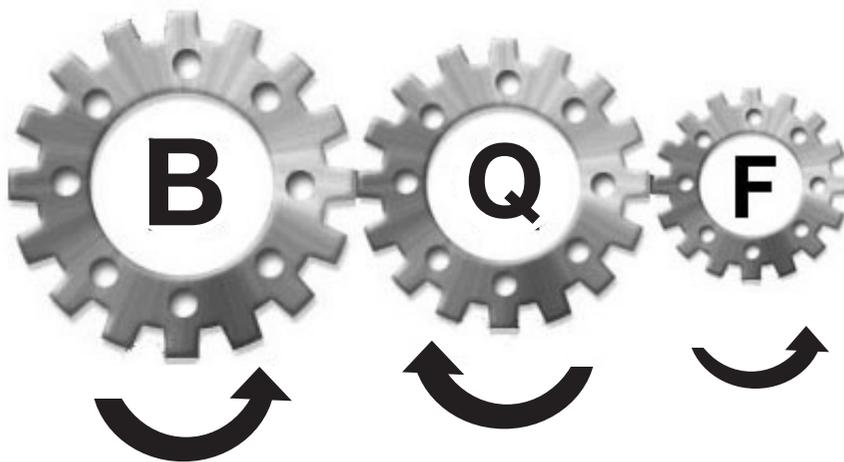


Figura 5. Los engranajes de la biología, la química y la física.

Sigo traduciendo libremente:

La globalización está provocando una tremenda redistribución de los papeles de cada país dentro del desarrollo de la economía mundial. Algunos países crearán nuevas tecnologías, otros serán manufactureros, al final de la cadena, algunos países serán sólo una zona de consumidores. No podemos permitir que esto último sea el destino de los europeos. Los países europeos tienen la responsabilidad de reforzar las condiciones (enseñanza, investigación, desarrollo económico) que son esenciales para una innovadora, sostenible, segura y socialmente responsable comunidad química dentro de Europa con el objetivo de aumentar nuestro conocimiento básico en este área crucial de la ciencia. Esto asegurará un crecimiento económico y el correspondiente empleo en las industrias químicas y garantizará la necesidad que tiene la sociedad de viejos y nuevos compuestos químicos al mismo tiempo que atendemos a la preservación del medio ambiente para futuras generaciones.

Noticias preocupantes nos llegan del Reino Unido: varias universidades han decidido cerrar sus departamentos de química. ¿Las razones? Las carreras experimentales son caras y el número de estudiantes que desean estudiar química disminuye. ¿Que será de la química si no logramos atraer a los mejores alumnos? ¿Qué será del mundo si no hay grandes químicos?

## 2.2. Los engranajes

Para que el mecanismo funcione bien, el tamaño y la velocidad angular de los engranajes (que no son independientes) deben ser los adecuados (Figura 5). La rueda de la biología B es grande y gira muy deprisa. La de la física F es pequeña y gira despacio pero es muy sólida, de acero. La de la química Q es grande pero lenta y blanda, de latón. ¿Qué pasa? ¿Qué se está rompiendo?

## 3. LOS AVANCES DE LA QUÍMICA A MEDIANO PLAZO

Es obvio que ya no dispone España de las oportunidades que perdió en el siglo XIX. Por muy optimistas que seamos y por muy favorables que sean los Gobiernos que nos gobiernan, el lugar que nos corresponde en el mundo del siglo XXI es modesto y con tendencia a disminuir. País escasamente

poblado, con una población envejecida, sin grandes riquezas naturales, con sus minas exhaustas, sin tradiciones científicas fuertes, con un empresariado sin vocación innovadora, excesivamente dependiente del turismo, ... no está España en las mejores condiciones de competir con sus vecinos europeos (ni estos con estadounidenses o, dentro de poco, con chinos).

Es cierto que la llegada de la democracia y de las ayudas europeas vino acompañada de unas enormes ganas de demostrar que no éramos más tontos que los demás, sólo más tiempo oprimidos. Es opinión general que ese "milagro" español no se va a mantener.

¿Que podemos esperar en los próximos diez o quince años?

- 1) Ni se puede hacer todo ni nos van a dejar hacerlo todo.
- 2) No es fácil (ni prudente) elegir.

A título de ejemplo, he elegido dos casos, el sector farmacéutico y las nanociencias, porque son representativas de las dos grandes orientaciones de la química (las ciencias de la vida y los materiales) y porque creo que España debe y puede ser competitiva en ellas.

### 3.1. El sector farmacéutico

Imaginemos tres escenarios posibles (el 1 y el 2 pueden coexistir).

**3.1.1. El sector farmacéutico nacional prospera.** Para ello hay que superar un problema de talla. En el mundo de las empresas farmacéuticas las hay gigantes, grandes, medianas y pequeñas con todas las situaciones intermedias. Todas las nacionales (la gran mayoría, catalanas) son pequeñas. ¿Es viable en el siglo XXI una empresa farmacéutica pequeña? Hay quien piensa que las gigantes son unos monstruos ineficaces [3] y apuesta por las medianas. Si tienen éxito se transforman en grandes primero y en gigantes después. Dicho de otra manera, una empresa farmacéutica sólo puede tener éxito en un momento de su evolución: ni niña ni anciana.

¿Pueden las empresas farmacéuticas españolas sobrevivir? Hacia 1983, gobernando el Partido Socialista y teniendo altas responsabilidades Félix Lobo Aleu y Humberto Arnés Corellano en los Ministerios de Sanidad e Industria, hubo

un intento (incluida una reunión con el Presidente de la Generalitat, Jordi Pujol) de promover una fusión de las empresas farmacéuticas catalanas. Siendo empresas familiares, el proyecto fue abandonado después de algunas consultas.

Las razones no eran sólo de prestigio sino debidas a las reales dificultades de crear una empresa única mediana a partir de un conjunto de pequeñas empresas muy similares (redundantes) y muy dependientes de la comercialización de principios activos adquiridos a empresas multinacionales.

Veinte años han pasado ¿ha cambiado la situación? ¿es previsible que cambie en los próximos veinte? En mi opinión, la situación no se ha degradado en el sentido de que la capacidad innovadora ha mejorado en varias de ellas. Pero tampoco puede decirse que alguna de ellas haya alcanzado la talla mediana/grande. El problema sigue ahí y las proyecciones no son optimistas.

**3.1.2. El sector farmacéutico multinacional se consolida en España.** Varias empresas multinacionales, entre grandes y gigantes, han instalado en España (generalmente en Madrid o cerca de Madrid) parte de sus laboratorios de investigación. Hay que recordar que a nivel de consumo farmacéutico, España ocupa una posición destacada y es, por ello, un mercado altamente apetecible. Por iniciativa propia e incitados por una política de registro de medicamentos dirigista, varias empresas tienen aquí una parte, entre significativa y pequeña, de su actividad innovadora.

En este aspecto la situación mejoró mucho si bien algunas macro-fusiones han originado duplicación de centros con la consabida reducción de puestos de trabajo, al menos, de aquellos que corresponden a la parte más puntera de las empresas: la innovación.

¿Qué va a pasar? ¿Qué interés "científico" tienen las multinacionales para localizar en España parte de su investigación? La respuesta podría ser que nuestros científicos –por ejemplo, los químicos– son más brillantes, trabajan más horas y son más baratos que los de otros países.

¿Es eso cierto? Yo creo que lo ha sido. El problema es ¿lo seguirá siendo? Porque si no, se irán, que novios no les faltan. O dejarán en España sólo las líneas menos interesantes o la parte más rutinaria del trabajo de creación de nuevos fármacos.

**3.1.3. El sector farmacéutico nacional desaparece y el multinacional abandona España.** Es un escenario que demos contemplar porque no es descabellado. Puede que dentro de veinte años las empresas españolas hayan cerrado (o hayan sido vendidas a multinacionales) y las multinacionales se hayan llevado sus centros de investigación a otros países. Insisto, no es inevitable, pero es posible.

Dejando aparte por el momento otras aplicaciones de la química, como los materiales, la mayoría de los químicos son químicos orgánicos y la mayoría de ellos trabaja en temas relacionados con los fármacos, más o menos directamente.

¿Conllevaría el escenario 3 la desaparición de la química orgánica en España? Supondría seguro un golpe muy grave, pero no la muerte. ¿Tendría aún sentido la investigación académica?

- a) La colaboración entre químicos académicos y empresas con centros de investigación fuera de España ya existe y se debería mantener. La condición es la excelencia del investigador español. Pero será cada vez más difícil competir con los nacionales del país donde resida la empresa, sobre todo con los no europeos.
- b) La docencia de otras ciencias (medicina, farmacia, veterinaria, biología,...) exige una formación en química. Para ser un buen docente hay que ser investigador. Luego docentes-investigadores, aún aislados de las empresas, continuarán siendo necesarios. Eso ya ocurre en ciertos países que tienen una actividad investigadora, modesta pero honorable, aunque carezcan de empresas farmacéuticas [4].

Veamos ahora las cuatro colectividades decisivas.

**3.1.4. Los científicos universitarios y de las O.P.I.S., principalmente el C.S.I.C.** Tenemos en este momento en centros públicos una generación (40-60 años) de excelentes químicos trabajando muchos de ellos en problemas relacionados con el medicamento. Disponen de medios adecuados y mantienen buenas relaciones con las empresas, disfrutando de contratos y becas pre- y postdoctorales costeadas por las empresas. No hay grupo español de química orgánica que no haya tenido en algún momento alguna relación con una empresa.

- ¿Hacen los químicos académicos lo que deben hacer? Es un equilibrio complicado y a redefinir constantemente: tiene que interesar a la empresa y tiene que ser de alto nivel.
- ¿Cómo pueden influir las empresas en las líneas de investigación? No tiene sentido que los centros públicos se dediquen a sintetizar "me-too"s: un laboratorio universitario español de química, esté en una Facultad de Ciencias, en una Facultad de Farmacia o en C.S.I.C. no está capacitado para descubrir un medicamento. Si lo está para buscar patrones biológicos (sustancias con gran afinidad y especificidad para un receptor): para eso bastan ensayos de "binding". Es falso creer que las "orphan drugs" son un objetivo razonable para un equipo químico académico, también lo es creer que la OMS les va a apoyar considerablemente.
- Peligro de hacer trabajos ramplones. Las empresas deben acudir a los universitarios con problemas difíciles que correspondan al "know-how" de los universitarios. Tales problemas aparecen muy a menudo y las empresas no tienen tiempo (ni pueden distraerse) para resolverlos. Los resultados obtenidos, aunque el trabajo haya sido financiado con dinero público, debería ser juzgado por la empresa.
- Los universitarios ¿Mano de obra barata? Hay empresas que reconocen que lo más interesante de un contrato con la Universidad es lo barato que sale. No hay que escandalizarse por ello. Salvo casos de conocimientos muy específicos y difíciles de adquirir, o de una momentánea gran urgencia, las empresas prefieren hacer dentro "in-house" todo aquello que les salga igual o más barato. Más barato incluye los costes de despedir un personal sólo temporalmente necesario.
- En un momento de su vida, los científicos inician tareas de asesoría "consulting". En el sector farmacéutico, se trata en general de químicos orgánicos y de problemas de síntesis. Es una actividad importante aunque los beneficios para los grupos de trabajo no son muy importantes.
- El peligro de las relaciones de los Departamentos de Química Orgánica con las Empresas Farmacéuticas está en el exceso: los contratos pueden acabar comiéndose la investigación básica.
- Todo esto es verdad para la química orgánica ¿pero y las otras químicas? Las empresas necesitan mucho apoyo a nivel analítico, por lo tanto los Departamentos de Química Analítica suelen tener tantas o más relaciones que los de Química Orgánica. Los de Química

Inorgánica (estado sólido, coordinación, ...) están mucho más cerca de los materiales. Los de Química Física, salvo excepciones, están más alejados de los problemas que surgen en el trabajo de las empresas. Pero así como la biología reposa sobre la química, la química descansa sobre la química-física: sin ella todo el edificio no tardaría en desmoronarse.

**3.1.5. Los científicos que trabajan en las empresas farmacéuticas.** Afortunadamente, las empresas farmacéuticas contratan buenos licenciados y doctores. No así otro tipo de empresas que son muy reticentes a contratar doctores ¿cómo lograr que contraten más? Es tarea urgente de las Universidades una política de promoción de sus doctores.

**3.1.6. Los directivos de las empresas (en las nacionales, generalmente, los dueños).** Hay que tener claro que debido a un problema de tamaño, los contactos entre científicos académicos españoles y empresas que residen en España, siempre serán minoritarios (Figura 6).

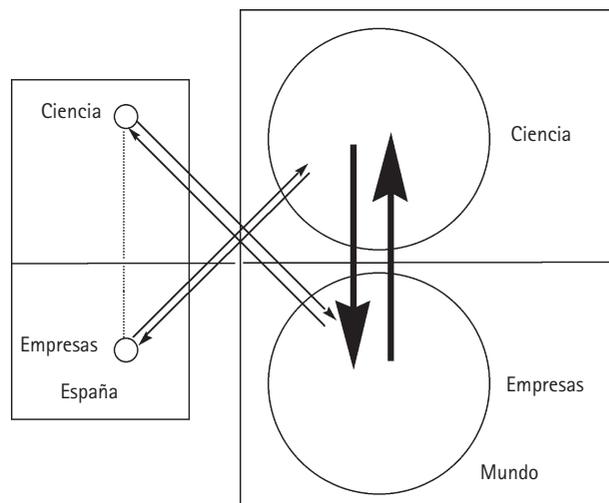


Figura 6. Los intercambios entre colectivos científicos y empresariales.

**3.1.7. El Gobierno.** Un gobierno responsable tiene que controlar el gasto sanitario (y por eso vela el Ministerio de Sanidad) sin ahogar a las empresas farmacéuticas (y eso es responsabilidad del Ministerio de Industria). Entre los instrumentos de los que dispone están los incentivos fiscales, pero el Ministerio de Hacienda no los suele ver con buenos ojos. Tarea pues compleja que exige coordinación, flexibilidad y

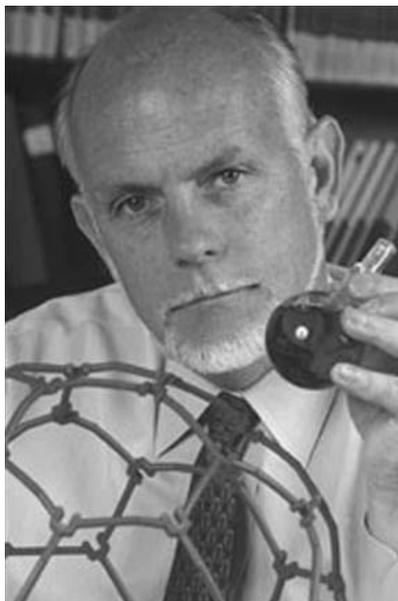


Figura 7. Richard Smalley. Premio Nobel de Química 1996.

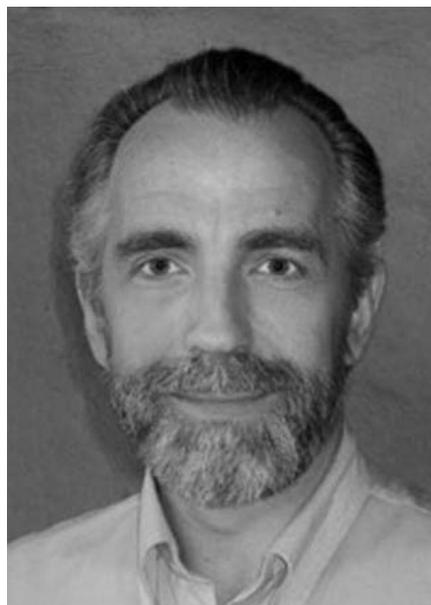


Figura 8. K. Eric Drexler.

generosidad. ¿Puede un gobierno, nacional o autonómico, impulsar las fusiones en el sector que nos ocupa? Imagino que puede empujar en esa dirección pero, que en último lugar, las empresas deben tomar la decisión adecuada.

### 3.2. Las nanotecnologías

**3.2.1. El origen de esta disciplina.** Esta disciplina está unida a los nombres de Richard Smalley (Premio Nobel de Química 1996 por el descubrimiento de los fullerenos, Figura 7) y a K. Eric Drexler autor del célebre libro «*Motores de creación*» de 1986 donde aparece por primera vez la palabra nanotecnología (Figura 8).

Lo que nos interesa hoy son las previsiones de futuro de estos dos grandes expertos así como las reacciones que han dado lugar a una reciente discusión entre Smalley y Drexler. Es como un diálogo entre Louis Pasteur (1802-1895) y Jules Verne (1828-1905), entre un científico y un visionario. El debate Drexler-Smalley se centra en los nanobots y, en particular, en los montadores moleculares "molecular assemblers", una especie de cadena de montaje de dimensiones moleculares donde moléculas pequeñas se unirían unas a otras o se fragmentarían para producir, con una eficacia y selectividad que ahora sólo se dan en los seres vivos, nuevas moléculas.

Tal como Drexler los concibe, los montadores moleculares no sólo fabricarían y repararían moléculas y biomoléculas sino que se auto-reproducirían. Este es el aspecto preocupante que Michael Crichton ha descrito en su novela *Prey*. Drexler olvida dos problemas, escribe Smalley, los que él llama «dedos gordos» y «dedos pegajosos», es decir, que para que una nanofábrica dirigida por un ordenador manipule objetos de tamaño molecular son necesarias unas manos tan diminutas que resultan incompatibles con los principios físicos generales que rigen en química. Sólo las macromoléculas biológicas pueden hacer esas tareas y ni los objetos fabricados son muy diversos ni están pilotados por ordenador.

**3.2.2. Las perspectivas en nanotecnologías.** ¿Aún está España a tiempo? Los estudiantes que formemos ahora serán los que deberán hacer los grandes descubrimientos en 2020. Pero las empresas hay que crearlas pues la carrera ha empezado ya.

En el mundo de la tecnología de materiales resulta imprescindible que su fabricación y utilización se hagan dentro de un contexto de desarrollo sostenible. No sólo necesitamos materiales con propiedades a medida, sino que desde el inicio de la investigación, debemos preocuparnos por su coste, por los aspectos de fabricación y por su impacto ambiental (reciclabilidad). El campo de aplicaciones es

enorme, desde los materiales bio-compatibles a los materiales inteligentes, desde la creación y almacenamiento de energía a nuevos procesos catalíticos. Subyace la necesidad de un gran esfuerzo en ciencia básica para lograr el diseño racional de nuevos materiales y para entender el cambio del nivel molecular al macroscópico.

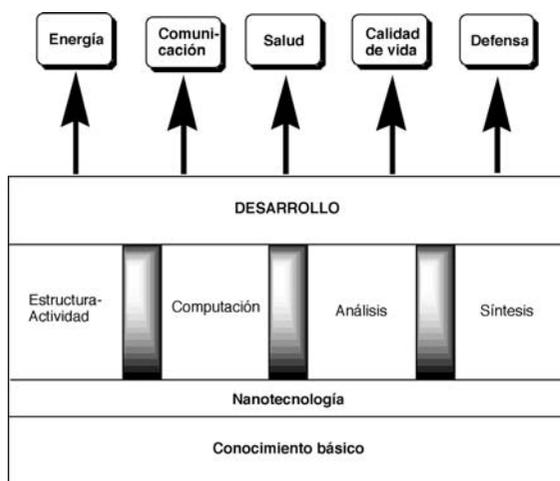


Figura 9. La posición privilegiada de las nanotecnologías.

En la Figura 9 se representa el mundo de los materiales. Sobre una base sólida de conocimientos básicos se asienta una capa de nanotecnologías que lo cubre todo. Mediante técnicas de "Estructura-Actividad", "Computación", "Análisis" y "Síntesis" se levantan los grandes temas de "Energía", "Comunicación", "Salud", "Calidad de Vida" y "Defensa" que pasamos a examinar brevemente.

**3.2.3. Energía.** En 2003 se consumieron en el mundo 14 terawatios de energía, cuyo 70% fue obtenido del petróleo o del carbón. ¡En 2050 harán falta de 30 a 60 terawatios! En ciencia de materiales hay que contribuir en la creación de energía (células fotovoltaicas, células de combustión), en la transmisión y distribución de la energía, en su almacenamiento (baterías, supraconductores, hidrógeno) y en su tratamiento.

**3.2.4. Tecnologías de la información y de la comunicación.** Óptica no-lineal, conmutadores, fibras, materiales funcionales, etc.

**3.2.5. Salud.** El envejecimiento de la población (y España no es una excepción en esto, bien al contrario) necesita de

nuevos arsenales terapéuticos: sensores, técnicas microanalíticas, ... hasta ojos y músculos sintéticos.

**3.2.6. Calidad de vida.** Teléfonos móviles, ordenadores portátiles, prótesis... todos necesitan nuevos materiales, principalmente polímeros.

**3.2.7. Seguridad y Defensa.** Los efectos (no las causas) de las recientes amenazas sólo se pueden combatir con un incremento en nuevas tecnologías, por ejemplo, sensores.

**3.2.8. Nanotecnología.** El principal obstáculo al desarrollo espectacular de las nanociencias es la falta de conocimiento básico en la dimensión de la nanoescala. Fenómenos como autoasociación, relación entre nano, micro y macro estructuras, necesitan ser comprendidos para beneficiarse de un mercado estimado a un billón de euros en 2015. Los efectos sobre la salud y el medio ambiente deben ser explorados desde ahora.

Como ejemplo hemos elegido los nanotubos. (Figura 10) Son cilindros gráficos nanométricos descubiertos hace una docena de años con numerosas y prometedoras aplicaciones como materiales. Hasta el descubrimiento de los nanotubos, el material más tenaz conocido era el hilo de araña (2 a 3 veces mejor que el Kevlar). Una tela de araña de 1 kg podría detener una moto de 300 kg lanzada a 100 km/h. Una tela de 1 kg en fibra de nanotubos podría detener un coche de 1.500 kg lanzado a 100 km/h.

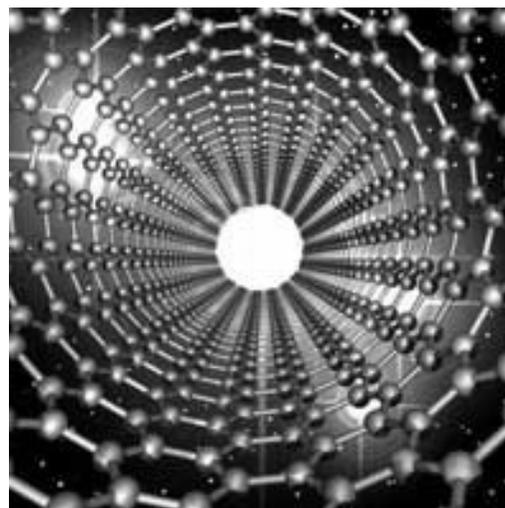


Figura 10. Una imagen virtual de un nanotubo.

## 4. PROPUESTAS

### 4.1. La experiencia de los Institutos de Materiales

Durante el primer periodo de gobierno socialista en España, con Felipe González como Presidente de Gobierno, José María Maravall como Ministro de Educación y Ciencia, Enrique Trillas y Jesús Sebastián, respectivamente, como Presidente y Vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, se crean en 1985-1986 los Institutos de Ciencia de Materiales del C.S.I.C. en general mixtos con Universidades: de Madrid (C.S.I.C.-U.A.M., Figura 11), de Sevilla (C.S.I.C.-U.S., Figura 12), de Aragón (C.S.I.C.-U.Z.) y de Barcelona (C.S.I.C.).

Esta experiencia merece ser examinada con detalle por ser la única decisión importante en el campo de la química. Los resultados han sido muy satisfactorios. Hoy no es necesario crear otros nuevos, hay que crear Institutos Mixtos de Nanociencias, de Catálisis, de Biofísica, ... pero de una manera coordinada por el Gobierno, no en una carrera entre Comunidades Autónomas.



Figura 11. El ICMM en el campus de la Universidad Autónoma de Madrid.



Figura 12. El ICMSE en el campus de la Isla de la Cartuja.

### 4.2. Una experiencia repetible: el ICIQ

A pesar de que en los últimos veinte años se han hecho progresos respecto a la cantidad de recursos dedicados a I+D, España se encuentra aún en una situación muy débil en relación con la media europea. El "Institut Català d'Investigació Química" (ICIQ; Instituto Catalán de Investigación Química, Figura 13) ha sido uno de los primeros frutos de la nueva política científica de la Generalitat de Catalunya, orientada hacia la creación de nuevos centros de innovación tecnológica en áreas estratégicas. La misión del ICIQ es la de promover un cambio cualitativo en el nivel científico de la investigación química en Cataluña, poniendo progresivamente más énfasis en la investigación orientada a objetivos. También se propone fortalecer, mediante la innovación y la mejora tecnológica, la competitividad de la industria química y farmacéutica de Cataluña. El ICIQ, en particular, se creó con la ambición de convertirse en referente para la Química dentro del Espacio Europeo de Investigación [5].



Figura 13. La página institucional del ICIQ.

No hay muchos sitios que reúnan el marco de Tarragona y la importancia de su industria química. Quizás se pudiese encontrar un sitio en la confluencia de varias Comunidades, como las de Castilla-León, Castilla-La Mancha y Madrid o Murcia y Castilla-La Mancha, etc.

### 4.3. La situación de Madrid

4.3.1. *Un poco de historia.* La química como ciencia experimental aparece en España hacia 1780-1790 - casi simultáneamente en el País Vasco, en Cataluña y en Madrid- asociada a la extracción de metales, a la farmacia y a actividades militares. Otros momentos históricos significativos fueron la creación, el 25 de febrero de 1847, por real decreto de Isabel II, de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y en enero de 1932 de la Academia Nacional de Farmacia, que adquiriría la denominación de Real Academia de Farmacia el 27 de Julio de 1939 (en la actualidad Real Academia Nacional de Farmacia). Ambas



Figura 14. Enrique Moles Ormella (Barcelona 1883 - Madrid 1953).



Figura 15. Miguel Catalán Sañudo (Zaragoza 1894 - Madrid 1957).



Academias forman parte del acervo cultural madrileño. Sus edificios, sitos en las calles Valverde, 22, y Farmacia, 11, son centros de acogida para todos aquellos curiosos de nuestro pasado cultural, lugares de celebración de cursos, seminarios y conferencias, así como de estudio en sus magníficas y tranquilas bibliotecas.

La historia de la química española en el siglo xx se puede dividir en tres periodos: 1907-1936, 1939-1975 y 1975-2000, que podríamos denominar el de la esperanza trunca, el de la resistencia y el del amanecer. El primer periodo (en el que, como en el segundo, Madrid desempeñó un papel predominante) está asociado con la "Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas" (Real Decreto de 11 de enero de 1907) y con los nombres de tres grandes químicos que trabajaron en Madrid: Antonio Madinaveitia, en la Facultad de Farmacia; Enrique Moles (Figura 14), en la de Ciencias, y Miguel Catalán (Figura 15), en el de Investigaciones Físicas de la Junta.

El segundo periodo coincide con la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.) (ley de 24 de noviembre de 1939) y se caracteriza por la pasión de algunos universitarios por mantener viva la ilusión por la ciencia, a pesar de la ruptura casi total con el pasado. Sin duda, la figura más representativa de esta época es Manuel Lora-Tamayo, que fue catedrático de Química Orgánica en

la hoy Universidad Complutense desde 1942, más conocido por su vertiente política y legisladora, pero científico de talla internacional. A su lado, figuras como la de Enrique Gutiérrez Ríos (Inorgánica), Jesús Morcillo (Química-Física) y muchos otros hicieron de la Universidad de Madrid un centro de referencia para los químicos españoles. Sin sus esfuerzos y los de sus colegas de otras universidades españolas el magnífico renacer de la tercera época no hubiese resultado posible.

Esta tercera época se caracteriza por un florecimiento espectacular de la ciencia española, pero también, al menos en lo que concierne a la química, por una cierta disminución de la supremacía de Madrid, tan clara en el periodo anterior. A pesar de que, numéricamente, Madrid sigue teniendo la mayor concentración de químicos dentro de España, el peso excesivo de la tradición y una voluntad política de descentralización le han perjudicado. Aún así, hay Laboratorios de referencia en Química en las grandes Universidades madrileñas (Complutense, Autónoma y Alcalá de Henares) y en el C.S.I.C. Entre estos últimos, destaca por su importancia y tradición el Instituto "Rocasolano" de Química Física.

¿A que se debe el declive de la química madrileña? Probablemente a la falta de ambición de sus gobernantes. Vamos a hacer una propuesta de salvación.

#### 4.4. La química del C.S.I.C. en Madrid. Madrid: La ciudad de la ciencia

4.4.1. *Presentación.* El C.S.I.C. en la comunidad de Madrid posee en la calle de Serrano y sus aledaños próximos una serie de centros experimentales dedicados a la física y a la química (incluidos la bioquímica y los materiales). A esos centros están asociados tres factores muy importantes: personas, bibliotecas e instrumentación. Si excluimos el *Instituto de Fermentaciones Industriales* cuya futura ubicación ya está decidida, se trata (en orden geográfico de proximidad) de:

- *El Centro de Ciencias Medioambientales.*
- *El Instituto de Química-Física "Rocasolano" (Figura 16).*
- *El Instituto de Estructura de la Materia.*
- *El Instituto de Óptica "Daza de Valdés".*
- *El Instituto de Acústica.*
- *El Instituto de Física Aplicada.*
- *El Instituto de Química Orgánica General.*
- *El Instituto de Química Médica.*
- *El Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros.*



Figura 16. El Instituto "Rocasolano" del C.S.I.C.

Hay que aceptar que resuelto el problema del *Centro de Investigaciones Biológicas* y dado que el edificio del *Instituto de Neurobiología "Ramón y Cajal"* es demasiado reciente para pensar en su traslado, sólo quedan físicos y, sobre todo, químicos en una zona de la ciudad que no es adecuada para las ciencias experimentales. Puede parecer pretencioso denominar "Ciudad de la Ciencia" a un lugar donde faltan otras disciplinas científicas. Las fronteras de

la química se sitúan por un lado en la física (materiales) - cosa que quedaría asegurado - y por otro en la biología (ciencias de la vida). Una parte importante de los *Institutos de Química Orgánica General* y de *Química Médica* trabajan en esta segunda dirección. De tal manera que la componente biológica está garantizada y sería fácil de reforzar. Además, en el *Instituto de Química-Física "Rocasolano"* hay grupos muy importantes trabajando en estructura de macromoléculas biológicas tanto por difracción de rayos X como por RMN y, en un futuro próximo, por espectrometría de masas.

Algún día, no muy lejano, habrá que abordar el problema de desplazar muchas personas que ocupan una considerable superficie de metros cuadrados construidos a otro lugar más idóneo. El Centro de Química Orgánica "Manuel Lora-Tamayo" tiene unos 4.400 m<sup>2</sup> construidos y en él trabajan unas 440 personas de todo tipo. Para el conjunto de Institutos arriba citados, la estimación es más difícil, pongamos unas cuatro veces las cifras anteriores, 15.000 m<sup>2</sup> construidos y unas 1.500 personas. Dado la envergadura de la operación (debe ser la mayor concentración de personal del C.S.I.C. en la actualidad) lo más razonable es pensar que se hará escalonada y un periodo largo de tiempo.

Si se dispusiera de un plan director, es decir un lugar y una urbanización preliminar, los Institutos se podrían trasladar progresivamente. De lo contrario se produciría una dispersión que tendría efectos muy negativos que, aunque evitasen el desastre de Arganda [6], serían muy perjudiciales para el C.S.I.C. y, por ende, para la ciencia en España.

4.4.2. *Lugar idóneo.* El lugar adecuado para construir una "Ciudad de la Ciencia" depende de los metros cuadrados urbanizables necesarios. La suma de las superficies de los Institutos antes enumerados es un cálculo aceptable, ya que si algunos están sobresaturados, otros andan holgados en exceso. Naturalmente, un lugar de trabajo agradable, requiere zonas ajardinadas, cantina y residencia de profesores invitados. Los daneses han construido sus nuevos centros académicos colindantes con uno de los más bellos parques de Copenhague. Es mucho mejor que los Institutos estén próximos unos de otros que no que estén en sitios magníficos pero dispersos por la Comunidad de Madrid.

4.4.3. *Orden de traslado.* Para decidir el orden de traslado hay que considerar las relaciones de trabajo entre Institutos

y su uso de Bibliotecas y de la instrumentación pesada. Hay bibliotecas excelentes (con alguna duplicación) en el *Instituto de Química-Física "Rocasolano"*, en el *Centro de Química Orgánica "Manuel Lora Tamayo"*, en el *Instituto de Óptica "Daza de Valdés"*, y en el *Centro de Ciencias Medio-ambientales*. Parece aconsejable que el CINDOC también se incluya en la operación de crear una biblioteca de referencia para toda España en "La Ciudad de la Ciencia". La instrumentación pesada de todos tipo (difractómetros, espectrómetros de masas y de RMN, etc.) son abundantes en el conjunto de institutos mencionados y constituyen parte importante del tejido de relaciones intercentros. Por ejemplo, el *Instituto de Química-Física "Rocasolano"* y los *Institutos de Química Orgánica General* y de *Química Médica* no deberían permanecer separados mucho tiempo.

**4.4.4. Conclusión.** Una ciudad de la ciencia con un ramillete de edificios dedicados inicialmente a diferentes aspectos de la física y la química, desde los más básicos hasta las empresas, con la mejor biblioteca de España en esas disciplinas, una cantina digna y rentable, una residencia de invitados (postdoctorales y profesores), una gran sala de conferencias y congresos, jardines y arbolado,... ¿por que no?

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

A veces parece que los grandes proyectos sólo atañen a las obras públicas: AVE, autopistas (aunque alguna apenas se use), eje Castellana-Paseo del Prado, ensanche de Barcelona, puerto de Valencia, ... es como si los políticos sólo creyesen en las cosas tangibles. Como si, sea cual sea su ideología, fuesen materialistas primitivos. ¿Y la inteligencia? ¿Y la sociedad de la información?

Hace unos años, en 1985, editamos un documento [7] que tuvo una gloria efímera. Me ha parecido interesante comparar las propuestas que allí se hicieron con la realidad actual, con la intención de hacer nuevas propuestas (en *cursivas*).

### CONSIDERACIONES FINALES

De las consideraciones específicas de cada área y de los debates particulares, han surgido algunas reflexiones que, por su carácter general, merecen ser destacadas para su especial consideración por la comunidad científica y por la administración.

## A LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

### 1. Carácter Interdisciplinario de la Ciencia

Una buena investigación es frecuentemente interdisciplinaria; por ello, los científicos debemos promover la colaboración, humana e instrumental, con colegas con conocimientos complementarios a los nuestros, sin miedo a perder nuestra identidad específica. Esta actitud ampliara nuestros horizontes y dar una nueva dimensión a la Ciencia española.

*Sigue siendo verdad. La química se ha vuelto cada vez más interdisciplinaria pero más debido a su propia evolución que como consecuencia de colaboraciones.*

### 2. Elección de línea de trabajo

La autocrítica es esencial en el quehacer científico. Por ello debemos someter a evaluación continuada nuestros temas de trabajo, debiendo estar dispuestos a reorientarlos e incluso a abandonarlos, si ello fuera preciso. Aunque la propia reflexión es importante, la respuesta de la comunidad científica internacional, manifestada a través de las opiniones de las más prestigiosas revistas, es la guía más segura de la vigencia y actualidad de los temas de trabajo.

*Dado que la comunidad química española cada vez publica en mejores revistas, este aspecto se ha conseguido. Nos falta publicar más a menudo en revistas como Nature o Science [8].*

Hay que abandonar las investigaciones rutinarias, triviales y sin objetivos definidos, y orientar nuestra actividad hacia temas innovadores, imaginativos y de riesgo y, por supuesto, hacia los definidos por los planes nacionales de investigación que se determinen.

*Este objetivo también se puede considerar alcanzado. Los planes nacionales y autonómicos (sobre todo la ANEP) están dirigiendo la investigación española a través de la financiación y las becas. Falta aún aceptar el fracaso de temas de riesgo por parte de los organismos evaluadores. No publicar puede estar justificado.*

La honradez y autenticidad deben presidir la formulación de los objetivos científicos, procurando no exagerar el previsible alcance de nuestras investigaciones.

*Eso no se ha conseguido. Incluso ha empeorado. Cada vez los investigadores prometen más aplicaciones a corto plazo, azuzados por las administraciones.*

### 3. Formación del Personal Investigador

La Ciencia es una actividad supranacional y ningún país es auto-suficiente. Es absolutamente necesario que cualquier joven, con pretensiones de realizar carrera investigadora realice un período de aprendizaje, preferentemente postdoctoral, en un centro de reconocido prestigio en el extranjero.

No obstante, el nivel adquirido por algunos grupos de investigación en nuestro país permite considerar, en este momento, la posibilidad de realizar el periodo de aprendizaje postdoctoral en España, en el seno de dichos grupos.

*Es este un punto curioso. Fue un éxito total dado que, con contadas excepciones, la presente generación de químicos españoles ha efectuado una estancia de duración significativa en algún gran laboratorio extranjero. Parece ser que hoy es mucho más difícil convencer a los jóvenes doctores para que hagan lo mismo. ¿Debido a que ya no hay tanta diferencia entre nuestros grupos y los de fuera? Aunque así fuese, la estancia en el extranjero debería ser casi obligatoria.*

### 4. Evaluación y seguimiento

La comunidad científica ha de estar dispuesta a aceptar un mecanismo de evaluación y seguimiento de la labor realizada.

*La comunidad científica lo ha aceptado. Otra cosa es que funcione bien la evaluación a posteriori. Hoy es más bien una formalidad debido en parte a nuestra idiosincrasia (aceptamos muy mal las críticas) y en parte a que no hemos sabido encontrar un mecanismo de evaluación "ex post facto".*

## A LA ADMINISTRACIÓN

### 1. Investigación básica

La administración debe comprender que la investigación básica es el fundamento sobre el que se levanta el desarrollo tecnológico del país. Por ello debe concedérsele la atención que merece y debe figurar entre las áreas prioritarias.

*La administración, o mejor dicho, las sucesivas administraciones, han apoyado la investigación básica. Aún se oyen voces entre nuestros científicos (y eso es lo peor) que son críticas con algunos aspectos muy básicos de la química. A mi entender, toda la química física, tanto experimental cómo teórica, debe de ser protegida de las opiniones de personas que, a veces, alcanzan posiciones relevantes.*

### 2. Infraestructura y mantenimiento

Debido al olvido en que se ha tenido a la investigación básica, es angustiosa la situación de los centros que la cultivan, en lo referente a infraestructura, tanto de material como de personal. Debe ponerse remedio urgente y duradero a esta situación; por ello, además de las dotaciones coyunturales necesarias, debe asegurarse, para el futuro, el mantenimiento de equipos y personas.

Por otro lado y con carácter general, debe facilitarse el acceso a grandes instrumentos de ámbito supranacional, así como la instalación en territorio español de determinados equipos muy costosos que presten servicio a toda la comunidad científica española.

*En lo que se refiere a infraestructuras y acceso a grandes instrumentos, hay que reconocer un gran éxito. Más aún, las previsiones apuntan a que se va a incrementar. Unica sombra ¿qué pasará cuando cesen los fondos FEDER?*

### 3. Formación del Personal Investigador

Debe fomentarse una política de estímulos a la realización de ampliaciones de estudios postdoctorales en el extranjero o, excepcionalmente en España, a la que puedan acogerse los jóvenes doctores que deseen seguir carrera investigadora y que estén capacitados para ello.

*En lo que se refiere a la formación postdoctoral de nuestros estudiantes, se puede considerar resuelto: basta con mantener la política seguida hasta ahora. Hay que aumentar considerablemente (¿triplicar?) el número de becas asociadas a proyectos: que no quede ningún grupo de talla media, cinco a diez personas, sin una o dos becas.*

*También necesitamos que España sea más generosa en becas de formación (pre- y postdoctorales) de países en vías de desarrollo: Iberoamérica, borde del Mediterráneo, Oriente próximo, India, ...*

### 4. Atenciones a los nuevos grupos de Investigación

Debe prestarse particular atención a la detección y protección, de forma muy selectiva, de núcleos incipientes de investigadores que puedan surgir en centros científicamente deprimidos.

Lo mismo es aplicable al caso de grupos que voluntariamente reorienten su investigación hacia temas más innovadores y de interés.

En ambos casos, la administración debe ser particularmente sensible a la evolución de estos grupos.

*Es cierto que muchos grupos hoy consolidados eran incipientes hace veinte años. La duda es si hoy un grupo incipiente tiene las mismas posibilidades de consolidación. Me temo que no.*

## 5. Evaluación y seguimiento

Cualquier política científica sería debe incluir ineludiblemente el seguimiento y evaluación de la labor de la comunidad científica.

La dejación de esta obligación por parte de la Administración puede tener efectos negativos en el nivel científico español.

*Ya hemos examinado este aspecto en un punto anterior. Dado que estamos (Febrero-Marzo de 2005) al principio de una nueva legislación en la que se han depositado muchas esperanzas, quizás sea oportuno indicar aquí que los organismos de evaluación deberían ser consolidados como instituciones pero renovados como composición.*

## REFERENCIAS Y NOTAS

- 1 Una variante de esta actitud es la de aquellas Universidades o Centros de Investigación que le dicen al C.S.I.C.: "nos interesa vuestro Instituto X, pero no todos sus investigadores, así es que vamos a montar una comisión de selección para elegir a aquellos que nos interesan" (yo lo he oído en varias ocasiones). Y con los otros ¿qué hacemos?
- 2 Murcia: 17 de noviembre de 1993 (con ocasión de la fiesta de San Alberto Magno).
- 3 En una conferencia del Dr. Sergio Erill (Fundación Dr. Antonio Esteve, Barcelona) el origen de los fármacos es (definido como cociente de moléculas generadas internamente sobre moléculas comercializadas) era en años 60 de 4/5 y pasó a ser en los noventa de 1/2 a 1/5, según las empresas.
- 4 Yo tengo un amigo alemán que es Profesor en la Universidad Libre de Berlín. Un día, charlando, le manifestaba yo mi preocupación por la debilidad del sector químico-industrial español y sus previsibles consecuencias sobre nuestra investigación académica. Me miró sorprendido y me dijo "¿Y para qué queréis hacer química en España? Bastante hacemos en Alemania". Cuando le dije que teníamos excelentes estudiantes cuyo futuro se vería comprometido si nuestro entorno industrial declinaba, me contestó "¿No crees en Europa? Que vengan a trabajar a Alemania", añadiendo. "¿Acaso todas las regiones de España tienen la misma actividad industrial? Pues igual en Europa" [J. Elguero, Fundación Jovellanos, II jornadas "Reflexiones sobre España: España en Europa", Perspectivas científicas y tecnológicas, 25 de noviembre de 1999: Círculo de Bellas Artes, Madrid. Publicado por la Fundación Jovellanos en el 2000].
- 5 Comunicación de Anna López Lozano, Responsable de Transferencia de Tecnología del ICIQ, a publicarse en *Química Universal*.
- 6 Por razones difíciles de entender, el C.S.I.C. adquirió en 1955 una serie de fincas en Arganda del Rey ("La Poveda", "El Estrechillo") donde luego mandó construir (1970-1980) una serie de Institutos (Cerámica y Vidrio, Automática Industrial, Fermentaciones Industriales, Productos Lácteos, Centro de Investigaciones del Agua) que causaron un daño irreversible a personas e instituciones. Se tardó muchos años en corregir un error que pudo ser obviado. Hoy no queda casi ningún Instituto allí y el autobús que llevaba y traía al personal desde la calle Juan de la Cierva en Madrid a Arganda afortunadamente ha desaparecido. Agradezco a Adelaida Jover esta valiosa información.
- 7 "Tendencias actuales en química", Encuentros en la Universidad Internacional "Menéndez Pelayo", CAICYT, C.S.I.C., Santander, Julio de 1985 (Editado por el C.S.I.C. en 1986).
- 8 J. Elguero, "La química española 1981-2003", *Anales de Química*, 2003, 99, 11.

**Recibido:** 14 de diciembre de 2005

**Aceptado:** 12 de enero de 2006