

- 41 J. Elguero, «La Química del Porvenir: ¿Habrá química en el siglo XXII?». *Instituto de España: Anticipaciones Académicas*, 2005, II, 149-168.

La Química del porvenir:

¿HABRÁ QUÍMICA EN EL SIGLO XXII?

JOSÉ ELGUERO

Esta no es una pregunta retórica cuya respuesta, obviamente "si", es conocida de antemano por el autor de la pregunta. Que habrá químicos y nuevas sustancias químicas también es evidente. La duda es si la química existirá como gran disciplina científica, junto a las matemáticas, la física y las ciencias de la vida (es significativo que nuestra Real Academia se denomine de "Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" como si la química sólo fuese física aplicada).

En el libro «*Anticipaciones académicas del siglo XXI*» [Campo, 2003], en los capítulos de Francisco Yndurain [Yndurain, 2003] y Pedro García Barreno [García Barreno, 2003] a pesar de tratar de temas afines como la física y la biología, la química o brilla por su ausencia o, lo que es más grave, se la considera parte de otra disciplina. A título de ejemplo «... la fructífera colaboración de la física y la biología continuará viento en popa a lo largo del presente siglo.» [Yndurain, 2003, p. 140]; «El siglo XXI es el siglo del «genoma», como el siglo XX fue el del átomo» y «La tecnología –la física–, la biología molecular, la genética molecular y el conocimiento del genoma, van a ser los responsables del avance del futuro médico» [Espinós, 2003, pp. 236, 263]. Está claro que el presente capítulo no tendrá efectos retroactivos y que la percepción de la química como una ciencia del siglo XIX será difícilmente corregible. Es de agradecer que Segovia de Arana [Segovia de Arana, 2003, p. 271] escriba «... la industria química acelera la investigación de los medicamentos...»

Cuando se hacen modelos matemáticos, sea cual sea la disciplina, la interpolación es bastante fiable pero la extrapolación lo es mucho menos y además empeora a medida que nos alejamos del borde experimental. Si el eje de las "x" es el tiempo y el de las "y" un fenómeno cualquiera, el tiempo se acaba hoy, ahora. A partir de ese punto, empieza la predicción. Cuando se leen los quince capítulos de «*Anticipaciones académicas del siglo XXI*» [Campo, 2003] se da una cuenta de lo prudentes que son los autores en predecir el futuro y tanto más cuanto más "blanda" es la disciplina que practican. No tanto porque temen equivocarse escandalosamente como tantos lo han hecho en el pasado sino porque realmente es muy difícil tener ideas originales y científicamente sólidas. Por un Feynman que supo imaginar las nanociencias en 1959 [García Barreno, 2003, p. 194, Elguero, 2003] o un González Duarte que predijo en 1932 los avances de la cirugía actual [Pinillos, 2003, p. 26] cuantos predicciones triviales o disparatadas. Alguien ha señalado que en el filme más vanguardista de su época "2001: Una Odisea del Espacio", no existe el correo electrónico y los científicos comunican con notas de papel.

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, aunque dicho olvido es significativo por lo eminentes que son. En mi caso, hay, al menos, otras dos razones, una más objetiva y la otra más subjetiva, de que

realmente es así. Hace algún tiempo escribí al profesor Jean-Marie Lehn 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, 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».

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».

En lo que se refiere al aspecto más subjetivo, les tengo que contar que un día del pasado verano, en el patio central del "Consejo", nombre familiar con el que su personal designa al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (en la acepción de «Corporación consultiva encargada de informar al gobierno sobre determinada materia», aquí, la investigación científica) me crucé con el profesor Pedro Pascual que ha fundado y dirige el Centro de Ciencias de Benasque [Pascual, 2003]. Me comentó que aunque había empezado como Centro de Física, ahora había reuniones de biología molecular, de matemáticas, de periodismo científico, pero que no había logrado convencer a ningún químico español para que organizase una. Me explicó que el número de españoles no debía superar un tercio, que la reunión duraba un par de semanas y de que no había conferencias, sólo discusiones. Me animó a hacerle una propuesta y me dijo que le escribiera.

Recordé los numerosos congresos y reuniones de química a los que había asistido en mi vida, de los más serios a los más informales: en todos había conferencias (plenarias, invitadas, comunicaciones cortas, etc.) y "posters" y en muchos, apenas discusión. ¿Que iba yo a hacer con sesenta u ochenta químicos durante quince días si no había conferencias? Me sentí muy desanimado, me pregunté: ¿es que los químicos no tenemos nada que discutir? Luego he recuperado parte de mi autoestima y he recordado como trabajamos: una corta discusión y enseguida al laboratorio o al ordenador. Y así, paso a paso, zigzagueando. Si nos encierran para

discutir, a lo sumo al cabo de un par de días todos estaremos impacientes para realizar algún experimento que permita decidir, zanjar o avanzar el problema.

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 alumnos 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?

Recientemente el editor de *Chemical and Engineering News*, la revista de los químicos estadounidenses, cuenta que en la Universidad de Harvard sólo hay dos divisiones en ciencias "Ciencias de la vida" y "Ciencias Físicas" con sus respectivos decanos. Se ha dicho muchas veces que la **química es una ciencia central**, pero ahora es una ciencia en el medio. Dicen familiarmente los franceses "con el trasero entre dos sillas" para describir una situación incómoda.

Creo haber dejado claro porque me preocupa el futuro de la química. ¿Seré capaz de decir algo acerca de ese futuro?

Una aproximación metodológica al problema de la predicción podría dividirse en tres apartados:

1.- Cosas que sabemos que nunca sucederán. Parece poco interesante pero contribuye a definir el territorio de lo posible.

2.- Podemos establecer una lista de lo que no sabemos hacer que no viole ley física alguna y especular de si y cuando lo conseguiremos.

3.- Cosas que **no sabemos que ignoramos** porque están fuera de nuestro paradigma actual.

Debemos recordar que para predecir el futuro lo mejor que podemos hacer es contribuir a cambiarlo. En ese sentido se expresan Vicente Palacio Atard [Palacio, 2003, p.55] cuando escribe: «El historiador ... sabe que el futuro no es dominio que le pertenezca, pero sabe también que contribuye a realizarlo...». E igualmente, en cierto sentido, Gregorio Varela [Varela, 2003, p. 360] al reflexionar sobre las previsiones de Malthus: «... no tuvo en cuenta que, si bien cuando nace un hombre es verdad que aparece una nueva boca que alimentar, también nace un nuevo cerebro, que piensa, y es capaz de ilusionarse cuando el objetivo, como en este caso –un mundo sin hambre–, vale la pena».

Que los seres humanos contribuimos a definir el futuro no es razón para que caigamos en la herejía antropocéntrica. Los virus también lo hacen y ¡ni siquiera es seguro que estén vivos!

Obviando el punto 1 (nunca sabremos levitar), el punto 2 es el más fructífero, de hecho es el que utilizan varios autores de *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, por ejemplo Francisco Yndurain, Domingo Espinós, Ángel Sánchez de la Torre [Sánchez, 2003] y otros.

En lugar de predecir lo que va a ocurrir, una serie de científicos de gran prestigio (Lippert, Cotton, Seebach) has establecido listas de lo que nos gustaría saber hacer a los químicos. Es parecido, pero no idéntico, a una lista de las cosas que se van a descubrir. Son demasiado técnicas para ser expuestas hoy, así es que las he consignado en un apéndice, ya que las considero extremadamente valiosas.

Me limitaré a comentar algunas de ellas elegidas más en función de mis conocimientos y gustos que de su importancia.

Femtoquímica. Aunque este tema ya ha sido tratado, con el cuidado y la profundidad en él

habituales, por Pedro García Barreno [García Barreno, 2003, p. 183], su previsible desarrollo me obligan a dejar constancia aquí de su importancia para el futuro de la química. El sueño de los químicos, al menos desde el siglo XIX, ha sido ver las moléculas reaccionar. En particular "ver" algo tan fugaz como los estados de transición. Dichos estados han sido comparados a los puertos de montaña que conectan dos valles, pero el caminante pasa tanto tiempo en el puerto como en el llano y no tiene dificultad de mantenerse en el puerto cuanto quiere. Las moléculas, sin embargo, duran tanto menos cuanto mayor es su energía. Es decir, que los estados de transición son muy inestables y difíciles de observar. El profesor Ahmed Zewail lo ha conseguido. Zewail "ve" colecciones de moléculas usando diferentes técnicas de pulsos (por ejemplo, difracción de electrones). Con un microscopio túnel de barrido, se puede "ver" una sola molécula (pero en un valle, en un pozo de estabilidad). ¿Será posible un día ver una molécula individual transformándose en otra? ¿Ver la molécula "bailar", rompiéndose sus enlaces y creándose otros nuevos? Yo creo que sí. Podremos verlas incluso dudar entre dos itinerarios posibles. Es más, se acaba de describir el estudio de una molécula excitada de monóxido de carbono por Heinz y colaboradores que combina esas dos técnicas [Bartels, 2004].

Nanotecnología. Junto al anterior, también la nanotecnología ha sido discutida por Pedro García Barreno [García Barreno, 2003, p. 183] quien cita a Richard Smalley (Premio Nobel de Química 1996 por el descubrimiento de los fulerenos) y a K. Eric Drexler autor del célebre libro «*Motores de creación*» de 1986 donde aparece por primera vez la palabra nanotecnología. Lo que nos interesa hoy son las previsiones de futuro de estos dos grandes expertos así como las reacciones ha que han dado lugar una reciente discusión [Drexler, Smalley, 2003]. Es como un diálogo entre Louis Pasteur (1802-1895) y Jules Verne (1828-1905), entre un científico y un visionario. El caso de Julio Verne es frecuentemente citado, para resaltar su clarividencia pero también sus divertidos errores. Recordemos que Miguel Artola ha escrito de él [Artola, 2003, p. 42]: «Julio Verne, al describir las posibilidades de la nueva tecnología aparece como un precursor más que 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 cortarían para producir, con una eficacia y selectividad que ahora sólo se dan en los seres vivos, nuevas moléculas. Ver, a ese propósito en el apéndice, el punto 7 de la lista de Stephen J. Lippard (del M.I.T.): «Deseamos controlar la dirección y la orientación de acercamiento de una molécula que reacciona con otra».

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* [Crichton, 2002]. 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 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 pilotadas por ordenador.

Quiralidad y origen de la vida. Ya saben, quiralidad del griego *cheirós*, mano. Porque muchas moléculas de la biosfera existen en dos formas que son como un objeto a su imagen especular, como una mano derecha (del latín, *rectus*, R) y una mano izquierda (del latín, *sinister*, S). A tal punto que vida y quiralidad están íntimamente unidas. En el caso de los biopolímeros, DNA, RNA y proteínas, tiene que ser todo-R o todo-S de lo contrario se producirían mezclas inviábiles. Pero ¿cual de los dos? Y ¿porque? ¿Podría haber vida no quiral (por ejemplo en Titán, una de las lunas de Saturno) hecha de poli-glicina que es el único aminoácido sin ningún átomo quiral?

De lo que no me cabe duda es de que no puede haber vida sin carbono, sus diferentes

hibridaciones y su propiedad de formar repetidos enlaces carbono-carbono lo hacen insustituible. El silicio ha sido considerado un posible rival y aunque se pueden sintetizar compuestos en los que átomos de carbono hayan sido remplazados por átomos de silicio manteniendo sus propiedades biológicas, yo no alcanzo a imaginar un código genético basado en silicio como elemento fundamental.

El punto tercero, cosas que **no sabemos que ignoramos** porque están fuera de nuestro paradigma actual, parece inaccesible ¿como vamos a imaginar lo inimaginable? Pero los químicos son muy astutos (al menos algunos lo son) y han razonado así. La química es el conjunto de todas las moléculas químicas: en ellas, como en la *Biblioteca total* de Jorge Luis Borges, está todo. Pero a diferencia de tal biblioteca, no hay libros absurdos sin sentido (la inmensa mayoría de ellos) sino moléculas quizás poco interesantes, pero tan reales como las más importantes. Si se limita el número de páginas del libro, la biblioteca borgiana no es infinita. Lo que sucede es que el número de ejemplares interesantes (o simplemente legibles) es muy muy pequeño (aunque no infinitamente pequeño) frente a los que carecen de sentido. Por mor a la exactitud, debo decir que la química no es sólo la colección de todas las moléculas, si no también la de sus transformaciones. Como el cerebro es más que las neuronas: son todas las conexiones.

Volvamos a la química. Se pueden concebir los siguientes conjuntos de moléculas:

1.- El número de moléculas conocidas hoy es de unos 20 millones de las cuales, 95% contienen carbono y pertenecen pues a la subdisciplina de la química orgánica.

2.- El número de moléculas que serán conocidas a finales del siglo XXI: ¿unos 100 millones? ¿Quizás 200? El crecimiento actual es exponencial (y más desde que se introdujeron las síntesis combinatorias y en paralelo) pero si hay una certeza absoluta es que un crecimiento exponencial o cambia de signo (y se transforma en una sigmoide) o se detiene bruscamente: cuando haya consumido toda la materia del universo.

3.- El número de moléculas diferentes que se pueden sintetizar con las 10^{82} partículas elementales que se dice haber en el universo. Incluso si queremos preparar un milimol (10^{21} moléculas) y si gastamos 10^6 partículas por molécula, aún sale un milimol de 10^{55} moléculas diferentes. Pero no disponemos del universo si no de una delgada capa de la tierra. Es difícil de calcular incluso de una manera muy aproximada: ¿ 10^{20} ?

4.- El número de moléculas imaginables. Para muchos químicos ese número es infinito. En realidad está subyacente el principio físico de que siempre se puede aumentar de una unidad una cadena de átomos de carbono sin disminuir su estabilidad. El nonacontatrictano $C_{390}H_{782}$ es el mayor alcano sintetizado hasta la fecha. La hipótesis es que el siguiente alcano, $C_{391}H_{784}$, también será estable y así indefinidamente. A mi me cuesta aceptar esa hipótesis y creo que llegará un momento en el que el homólogo superior a uno estable deje de serlo.

Imaginemos que la humanidad antes de extinguirse sintetiza diez mil millones de moléculas diferentes, eso es 10^{10} , lo cual quiere decir que aún entonces el espacio multidimensional de todas las moléculas posibles estará prácticamente vacío.

Frente a esa constatación ineludible algunos se han preguntado: ¿está al menos lleno de una manera homogénea? La respuesta es no. El mapa de muchas dimensiones (necesarias para describir una molécula) no es conocido, pero sabemos que hay aglomeraciones muy densas y enormes zonas vacías. Sabemos, por ejemplo, que hoy día hay más compuestos orgánicos con un número par que con un número impar de átomos de carbono. Los químicos, especialmente los de la industria farmacéutica, están interesados en lo que se conoce como **diversidad química**, es decir la distancia euclídea que separa una molécula de otra. Los ordenadores ofrecen la única posibilidad: calculemos

todas las moléculas posibles, situémoslas en el mapa y trabajemos en las zonas inexploradas. Ese es el grandioso proyecto de unos soñadores.

Si ahora nos preguntamos ¿cuántas moléculas de origen natural existen? Sin la intervención del hombre, ¿cual sería la composición química de la tierra? Los productos naturales, conocidos y por descubrir son una parte muy pequeña de esos conjuntos que acabamos de discutir y además crecen muy despacio. Se puede estimar a alrededor de 10^6 o 10^8 moléculas. Por eso, en contradicción con la mayoría de los autores («La naturaleza nos seguirá regalando estructuras activas y novedosas que no podrían haber sido diseñadas por el hombre» [Avendaño, 2003, p. 419]), no creo que los productos naturales continúen a ser en el siglo XXII la fuente principal de Fármacos.

Cierto es que como nosotros somos parte de la biosfera, resulta probable que un producto natural tenga más acciones farmacológicas que una sustancia exobiótica. Pero si se lleva demasiado lejos el principio antrópico, no se entendería porque la inmensa mayoría de los productos naturales tienen que ser transformados en algo no natural, que nunca había existido antes, para ser utilizados como medicamentos.

Se que esta cuestión de la relación entre los productos naturales y los medicamentos es objeto de vivo debate entre los "vitalistas" y los "mecanicistas". Yo creo que se trata de un ejemplo del principio copernicano de Gott, del que hablaré al final de esta charla. **En este momento**, los organismos vivos, terrestres o marinos, son una fuente potencial de medicamentos que sería locura ignorar. **¿Pero, y en siglo XXII?** Estadísticamente, en la biosfera hay una cantidad muy pequeña de las moléculas posibles. Aún admitiendo que hay 1000 veces más probabilidad de encontrar un medicamento entre los productos naturales que entre los sintéticos, aún así, la apuesta futura es en favor de los artificiales. Desgraciadamente, aunque la esperanza de vida vaya a aumentar a 130, 150 o 200 años, pocos de nosotros conoceremos en siglo XXII. Y aunque así fuera, nadie recordará lo que se ha dicho aquí hoy.

Hay muchas otras aproximaciones posibles. La más ambiciosa es la del profesor George M. Whitesides del Departamento de Química y Biología Química de la Universidad de Harvard [Whitesides, 2004]. Propone buscar aquellas creencias actuales que si se demostrará un día que eran infundadas tendría enormes consecuencias sobre nuestra sociedad. En cada caso intenta, con mejor o peor fortuna, establecer una relación con la química. Creo, escribe Whitesides, que todo, desde el metano a la conciencia (Whitesides emplea "sentience", algo más cercano a sensibilidad), es química. Su lectura es extraordinariamente estimulante. He aquí las hipótesis:

1. **Somos mortales.** Asumimos que somos mortales y que moriremos. Lo sabemos por experiencia bien que sea por la experiencia de otros. Pero no es necesario alcanzar la inmortalidad para cambiar el mundo. Con mucho menos basta, por ejemplo, 200 años de vida media, pero sólo para los muy ricos.

2. **Sólo los seres vivos piensan y nosotros somos los mejores.** Es poco probable (¿acaso lo permitiríamos?) que la evolución biológica lleve a otro ser vivo a nuestro nivel. Pero ¿y los ordenadores? Recordemos: la inteligencia es una propiedad que emerge de la interacción de moléculas que no son inteligentes.

3. **Animales y máquinas son diferentes.** Se acepta la frontera entre "vivo" y "no vivo", entre "animal" y "máquina". Pero no se viola ninguna ley física fundamental si se fusiona lo animado y lo inanimado, los hombres y las máquinas. Animales como sensores (recuerden el uso de canarios para detectar el grisú). Plantan como reactores químicos. El problema es inmenso pero su solución implica necesariamente herramientas moleculares.

4. **La vida humana es inestimable.** Se acerca el día en que tendremos que elegir entre limitar los nacimientos o limitar la esperanza de vida. Entre vida nueva y vida vieja. No hay sitio para todos.

5. **Todos nacemos iguales.** Derechos y oportunidades. La conexión entre genómica y fenotipos puede llevar a clasificar individuos, especialmente niños de acuerdo con sus capacidades. No sólo su susceptibilidad al enfisema si fuman, también su capacidad para ser buenos padres. Pandora no pudo resistir a abrir la caja, ¿podremos nosotros?. Para bien o para mal, en este tema, la química ocupa una posición central.

6. **Somos individuos y la intimidad es importante.** Si conseguimos una fuente portátil y potente de energía (¿transformando nuestro exceso de grasa en energía?), los otros elementos están disponibles para pasar de seres individuales a una organización tipo colmena.

7. **Los médicos controlan el sistema sanitario.** Están perdiendo la información en beneficio de la red mundial; los ensayos de medicamentos en beneficio de la autoexperimentación y las medicinas alternativas, y la cirugía en beneficio de las máquinas.

8. **La tierra continuará siendo habitable.** ¿Que puede pasar para que esa hipótesis se revele falsa? ¿Calentamiento global? ¿Guerra termonuclear? ¿Impacto de un gran meteorito?

9. **Las naciones son la más poderosa organización humana.** Hoy es más importante para un país tener una población altamente educada que reservas de carbón. ¿Dejarán de serlo? ¿Aparecerán entidades supranacionales que las reemplacen?. ¿Que papel jugará la química en las medidas de defensa de esas entidades?

Quisiera concluir esta intervención con dos disquisiciones: una sobre nuestra lengua y la otra sobre la sociología de la química.

¿Es el español aun salvable como lengua de comunicación científica? Según comenta Gregorio Salvador, el porvenir de la multilingüe Europa unida está en la elección de una lengua germánica y otra románica para el necesario intercambio, que podrían ser el inglés, dada su implantación universal, y, sensatamente, el español [Salvador, 2003, p. 22]. Vicente Palacio Attard escribe sobre la superación de las motivaciones que en otros tiempos originaron la dicotomía España-Europa [Palacio, 2003, p. 62], lo cual me parece que implica el uso de nuestra lengua en la ciencia.

El Instituto de España, en colaboración con la Academia de Ciencias, debería solicitar ayuda financiera a los Ministerios de Educación y Ciencia y de Asuntos Exteriores para crear una página "web" en español sobre química destinada a los jóvenes. Páginas similares existen en inglés [IUPAC, 2004], pero si queremos que alcancen a los 400 millones de hispano hablantes es necesario que sean en español. Recordemos que Brasil ha decidido que el español sea su segunda lengua obligatoria. Una de las pocas predicciones sin riesgo es que "internet" va a revolucionar la docencia, de hecho, ya lo está haciendo, pero sólo aquellos países que dediquen un gran esfuerzo en esta dirección no se quedarán retrasados irremediablemente.

Naturalmente se debería contar con la IUPAC a nivel internacional y con la Real Sociedad Española de Química a nivel nacional. Se podrían "colgar" de la red, cursos en castellano y otras lenguas habladas en el estado español sin que eso resultase en detrimento de los libros de texto. De todos modos, insistimos, el objetivo, los clientes, son jóvenes entre diez y diez y siete años de habla hispana. Se trata de crear vocaciones algo que obligatoriamente tiene que ocurrir antes de ir a la Universidad. Es un problema, sensu strictu, **vital**.

Para acabar un poco de sociología de la química. Si comparamos una publicación actual a una de los que escribía hace cuarenta años, dos cosas son aparentes: las aplicaciones como justificación del trabajo y el "marketing". Los trabajos científicos, al menos los de química, siguen unas pautas bien definidas, en cierta medida se parecen todos. Antes, en la parte inicial de la publicación (**introducción**) se justificaba el trabajo realizado por su novedad, por corregir un error, por completar un aspecto olvidado, por lo sorprende del resultado obtenido (eso aún ocurre en química de coordinación). Hoy, al menos en la rama más desarrollada, la química orgánica, eso no es así. Hoy la inmensa mayoría de los trabajos empiezan explicando lo interesantes que son **por sus posibles aplicaciones** (medicamentos y materiales). Yo creo que es un error muy grave (aunque yo haga a veces lo mismo, que remedio). Se trata de un ejemplo de alienación (RAE: «Proceso mediante el cual el individuo o una colectividad transforman su conciencia hasta hacerla contradictoria con lo que debía esperarse de su condición»).

El segundo cambio significativo en lo que a publicaciones científicas se refiere es el "marketing" (mercadotecnia). Revistas tan prestigiosas como *Angewandte Chemie*, *European Journal of Organic Chemistry*, *Journal of Organic Chemistry*, han creado toda una serie de señuelos para atraer al lector. No basta con que un trabajo sea importante para que sea leído: ¡tiene que ser atractivo! Escribe Antonio Fernández-Alba [Fernández-Alba, 2003, p. 70]: «La *ciudad herramienta* de principios de siglo, donde predominaban los valores funcionales, ha sido sustituida por la *ciudad espectáculo* donde adquiere prioridad la comunicación y los efectos de la arquitectura espectáculo».

Es tiempo de concluir, consciente de no haber sabido hacerlo mejor que los ilustres autores de *Anticipaciones Académicas* a pesar de que, cómo dice la célebre frase de Newton, he podido encaramarme a hombros de gigantes. No he sabido evitar el error de creer que este momento es un momento privilegiado, cuando es obvio que es un momento cualquiera en la historia de la humanidad que sólo tiene de especial el que yo estoy vivo y consciente y capaz de escribir estas líneas. J. Richard Gott III [Gott, 1997] ha construido un modelo probabilista de predicción basado justamente en lo contrario: que este momento y este lugar son triviales, cualesquiera, que no tienen nada de especial. Lo denomina principio copernicano por analogía con lo que ocurrió cuando Copérnico le quitó a la tierra su protagonismo (Jorge Wagensberg, director del Museo de la Ciencia de la Fundación 'la Caixa', lo traduce por *principio de mediocridad* [Wagensberg, 2003]). Pero ¿cómo aceptar el carácter insignificante de nuestro tiempo, de ese corto período de tiempo que se nos ha dado? Escribe Sabino Fernández Campo [Fernández Campo, 2003, p. 94] a propósito de «*La tercera ola*» de Alvin Toffler: «Para este autor la humanidad se enfrenta a una profunda conmoción social, a un gran salto cuántico, mucho más rápido que el de la revolución agraria y que el de la revolución industrial». Por su parte, Manuel Díez de Velasco [Díez, 2003, p. 347] se expresa así «... estamos atravesando un momento particularmente difícil que puede ser decisivo». Yo creo que los seres humanos somos demasiado vanidosos y que nos cuesta mucho reconocer que hubo épocas pretéritas y habrá épocas futuras mucho más importantes que la que nos ha tocado vivir.

Hablar del futuro tiene un lado romántico, lo que acontecerá cuando hayamos muerto, y otro algo cómico. Recuerda José Luis Pinillos [Pinillos, 2003, p. 25] que en una encuesta sobre el año 2000 publicada en 1932, le preguntaron a don Ramón del Valle-Inclán cómo iba a ser la literatura del año 2000. «¡Toma!, dijo don Ramón, si yo supiera como va a ser la literatura en el año 2000 ya la estaría haciendo». Y Carmelo Lisón [Lisón, 2003, p. 85] escribe: «Ningún economista se hace rico en la bolsa, pero todos juegan».

A mi ocuparse del futuro me trae a la memoria la célebre frase de Groucho Marx: «Why should I care about posterity? What's posterity ever done for me?».

Referencias

- Artola Gallego, Miguel [2003], *Imagen del Estado en el siglo XXI*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 361.
- Avendaño López, Carmen [2003]. *El futuro de los medicamentos*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 361.
- Bartels, Ludwig; Wang, Feng; Möller, Dietmar; Knoesel, Ernst; Heinz, Tony F. [2004]. *Science*, 305, p. 648.
- Campo, Salustiano del [2003], Editor. *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid.
- Crichton, Michael [2002], *Prey*, Harper Collins.
- Díez de Velasco, Manuel [2003]. *El derecho internacional del futuro*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 327.
- Elguero, José [2003], *Lo crudo y lo cocido: Reflexiones de un químico sobre su profesión*, *Anales de Química*, 99, 5-13.
- Drexler, K. Eric y Smalley, Richard [2003]. *Nanotechnology*, *Chem. Eng. News*, December 1, p. 37.
- Espinós Pérez, Domingo [2003], *Líneas de futuro de la medicina*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 221.
- Fernández-Alba, Antonio [2003]. *Acotaciones desde la arquitectura y la ingeniería*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 63.
- Fernández Campo, Sabino [2003]. *El futuro del Ejército y la guerra*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 93.
- García Barreno, Pedro [2003], *El futuro de la biología*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 141.
- Gott III, J. Richard [1997]. *New Scientist*, Vol. 156, p. 36 (ver también *Nature*, 1993, 363, 315).
- IUPAC [2004]. Propagation of Chemistry Task Force. CEFIC–Chemistry and You: <http://www.chemistryandyou.org> (muy interesante e interactivo, tiene versión en español). Royal Society of Chemistry – Visual Elements: <http://www.rsc.org/is/viselements.htm> (información interactiva de cada elemento).
- Lisón Tolosana, Carmelo [2003]. *El futuro de las culturas*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 73.
- Palacio Attard, Vicente [2003]. *Como escribir la historia de España*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 53.
- Pascual, Pedro [2003]. Información sobre el Centro de Ciencias de Benasque puede hallarse en <http://benasque.ecm.ub.es>.
- Pinillos, José Luis [2003], *Nuevas fronteras de las ciencias sociales*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 25.
- Salvador, Gregorio [2003]. *El español del siglo XXI*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 11.
- Sánchez de la Torre, Angel [2003]. *Derechos colectivos y derechos humanos individuales: su porvenir*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 291.
- Segovia de Arana, José María [2003], *El futuro de la medicina pública*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 269.
- Varela Mosquera, Gregorio [2003]. *Hacia un mundo sin hambre*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 351.
- Wagensberg, Jorge [2003]. *El principio de mediocridad*, EL PAIS, Opinión, 7 de noviembre.
- Whitesides, George M. [2004]. *Assumptions: Taking Chemistry in New Directions*. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43, 3632-3641.
- Yndurain, Francisco [2003], *La física del siglo XXI*, en *Anticipaciones académicas del siglo XXI*, Instituto de España, Madrid, p. 115.

Diccionario de siglas

C.S.I.C. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry.

M.I.T. Massachusetts Institute of Technology.

Apéndice

Lista de Stephen J. Lippard (del MIT):

1. Deseamos crear entidades que incluyan muchos **componentes idénticas** ... para que sirvan como receptores.
2. Deseamos crear **moléculas auto-replicas** y reacciones químicas capaces de corregirse a sí mismas ... incluyendo las reacciones catalíticas.
3. Deseamos entender la naturaleza de una transformación química nueva ... diseñar de manera racional un **catalizador** para dicha reacción.
4. Deseamos explorar la química en las interfaces ... controlar la estereoquímica de los **catalizadores heterogéneos** fabricados y utilizados en grandes cantidades.
5. Deseamos encorsetar edificios supramoleculares para preservar la integridad de especies químicas lábiles.
6. Queremos usar síntesis en paralelo, automatizadas, o química combinatoria ... de una **manera evolutiva**.
7. Deseamos controlar la dirección y la orientación de acercamiento de una molécula que reacciona con otra.
8. Deseamos entender los movimientos internos de las moléculas ... de tal manera que un pulso de energía electromagnética pueda ser utilizado para disociar específicamente un **determinado enlace** en la molécula.
9. Deseamos entender la estructura y dinámica de las interacciones intermoleculares.
10. Deseamos concebir reactivos ... capaces de atacar enlaces químicos tradicionalmente considerados **inertes**.
11. Deseamos encontrar medios para convertir sustancias **naturales abundantes en la naturaleza** en pequeñas moléculas útiles.
12. Deseamos desarrollar el arte de llevar a cabo reacciones químicas **sin disolvente**.
13. Deseamos crear reactivos que modifiquen químicamente parte de una molécula sin necesidad de proteger y luego desproteger otros sitios activos.
14. Deseamos crear productos químicos ... sustancias **no peligrosas** ... recursos **renovables**.
15. Deseamos entender ... las propiedades de compuestos de **tamaño comprendido entre 1 y 100 nm** intermedios entre el estado molecular y el estado sólido.
16. Queremos investigar **la química de moléculas individuales**.
17. Deseamos crear moléculas que se **auto-ensamblen** en estructuras supramoleculares.
18. Queremos aprender como hacer crecer **sólidos cristalinos** ... para incorporar **huéspedes** en esos cristales.
19. Deseamos encontrar composiciones no usuales de la materia ... en combinaciones no descubiertas.
20. Deseamos dominar la química de las especies encapsuladas ... liberando a voluntad ... un anfitrión.
21. Deseamos entender y utilizar la química ... de los **radicales** poliatómicos.
22. Deseamos desarrollar nuevos métodos teóricos para entender el enlace químico ... basados en sistemas químicos reales.

Lista establecida por 17 químicos e ingenieros químicos bajo la supervisión de Ronald Breslow (Universidad de Columbia) y Matthew V. Tirrell (Universidad de California, Santa Barbara):

1. Aprender a **sintetizar** ... cualquier sustancia nueva que tenga interés científico o práctico, usando síntesis compactas ... de alta selectividad ... bajo consumo de energía ... efectos medioambientales benignos.
2. ... Detectar e identificar sustancias y organismos peligrosos utilizando **métodos de alta sensibilidad y selectividad**.
3. Entender y controlar como **reaccionan las moléculas** – a lo largo de **toda la escala temporal** y del **intervalo completo de tamaño molecular**. Modelado molecular predictivo de los movimientos moleculares ... Manipular moléculas individuales ...
4. Aprender a diseñar ... sustancias, materiales y dispositivos moleculares con propiedades que puedan ser predichas, hechas a medida y ajustadas **antes de fabricarlas**. Química teórica y computación ...
5. Entender la química de los **sistemas vivos** en detalle ... La biología es cada vez más una ciencia química y la química se vuelve cada día más una ciencia de la vida.
6. Desarrollar **medicamentos** ... que puedan curar enfermedades hoy día sin tratamiento.
7. Desarrollar **auto-ensamblaje** ... para la síntesis de sistemas y materiales complejos.
8. Entender la complicada **química de nuestro planeta** ... de tal manera que podamos mantener su habitabilidad ... crear nuevos métodos para combatir la contaminación ...
9. Desarrollar **energía** ilimitada y barata ... que abra el camino hacia un futuro verdaderamente sostenible ... células de combustible ... confinar la energía luminosa ... superconductores ... distribución de la energía.
10. Diseñar y desarrollar sistemas químicos que se **auto-optimicen** (basados en el método que permite la optimización de sistemas biológicos mediante la evolución).
11. Revolucionar el diseño de **procesos químicos** ... comercialización de productos nuevos.
12. **Comunicar** con eficacia al público general las contribuciones que la química ... ha hecho a la sociedad.
13. Atraer a los mejores ... **jóvenes estudiantes** hacia las ciencias químicas.