



# “No somos el final de la evolución”

Jean-Marie Lehn, Premio Nobel de Química 1987, entrevistado por Manuel Martín Lomas.

El químico francés Jean-Marie Lehn fue galardonado con el Premio Nobel de Química en el año 1987- junto con Charles J. Pedersen y Donald J. Cram-, por «el desarrollo y utilización de moléculas con interacciones de alta selectividad basadas en su estructura». Con motivo de la celebración del Año Internacional de la Química, participó el pasado mes de mayo en el Ciclo de Conferencias *Química y Salud* organizado por CIC bioGUNE y la Fundación BBVA. El prof. Manuel Martín Lomas, director científico de CIC biomaGUNE, aprovechó la inmejorable ocasión para mantener un

encuentro realmente interesante sobre la situación de la química y la ciencia en general, que a continuación reproducimos.

**Según Albert Eschenmoser, el químico del siglo XIX más próximo a los químicos orgánicos actuales es Emil Fischer...**

Estoy completamente de acuerdo.

**Fischer hizo extraordinarias aportaciones a la química. Sin embargo es su célebre analogía de la llave y la cerradura la más conocida y famosa.**

El propio Emil Fischer se sorprendió de que su analogía tuviese tanto éxito en un plazo relativamente corto. Unos años después de que se enunciara, Paul Ehrlich introdujo este concepto en el campo de la inmunología con la teoría de las cadenas secundarias. Incluso algunos embriólogos estadounidenses como F. R. Lillie utilizaron la analogía de Fischer para explicar las interacciones entre el esperma y las células -interacciones célula-célula- en un artículo publicado en 1914 en el *Journal of Experimental Zoology*. Y tiene razón. Las células se reconocen entre ellas.

Jean-Marie Lehn, químico francés, en 1970 obtuvo la cátedra de Química Orgánica de la Universidad Louis



Pasteur de Estrasburgo y entre 1979 y 2010 fue profesor en el Colegio de Francia, en París. Actualmente es profesor emérito en la Universidad de Estrasburgo. En 1987 fue galardonado con el Premio Nobel de Química por sus estudios sobre las bases químicas del reconocimiento molecular.

**Manuel Martín Lomas**, doctor en Química por la Universidad de Sevilla, profesor de investigación del CSIC, es director científico de CIC biomaGUNE.

**Químicamente hablando, para entender la interacción entre el fermento de Fischer (la enzima) y los glucósidos hubo que esperar hasta la década de los 50 cuando Powel publicó sus primeros artículos sobre caltratos y Cramer los suyos sobre ciclodextrinas...**

Hay un pequeño libro de Cramer, que fue publicado en 1957 por Springer, sobre las ciclodextrinas y sus complejos de inclusión. He tratado de convenir a Peter Göllitz, el editor de *Angewandte Chemie*,



de que sacase una nueva edición. Se trata de un libro muy útil e interesante. Quizá todavía se pueda encontrar en Amazon. Es muy recomendable.

**Ya en la década de los 50 con los artículos de Cramer, pero especialmente en los 60 con los éteres corona de Pedersen, la comunidad de químicos orgánicos empezó a mostrar interés en el tema. Sí.**

**Y tuvieron que transcurrir otros 20 años para que todo ese trabajo fuese premiado con un premio Nobel, otorgado por el «desarrollo y uso de moléculas que en función de sus estructuras específicas interaccionan con alta selectividad».**

O, en otras palabras, reconocimiento molecular. Dicho así podría haberse vinculado directamente a Emil Fischer.

**Y ocurrieron muchas cosas desde la década de los 60 hasta el año 1987. Muchos científicos jugaron un papel importante en el campo de lo que hoy conocemos como química supramolecular y usted tuvo un papel clave...**

No ocurrió hasta 1975 o así, pero el fermento estaba ahí. Pedersen fue de los primeros y después llegamos nosotros. Cram entró un poco más tarde, pero realizó su propio desarrollo. No nos conocíamos de nada, nunca habíamos coincidido, así que decidimos conocernos al asistir al mismo congreso. Creo que fue en una *Gordon Research Conference*. Allí nos conocimos. Tengo que decir que mis ideas iniciales no vinieron de Pedersen, sino de áreas completamente diferentes: antibióticos con afinidad hacia los iones, la

valinomicina. La valinomicina fue descubierta en Alemania por Brockman. Su estructura y su síntesis fueron descritas por Shemyakin en Moscú y posteriormente, por Ovchinnikov. Las propiedades de transporte de los iones potasio se abordó tanto por ellos en Moscú como por Pressman en UCLA. Estos fueron mis antecedentes -la valinomicina-, ya que al comienzo de nuestra investigación yo quería hacer péptidos cíclicos basados en este compuesto. Así que, para mí, la inspiración fue la valinomicina. Y es importante reconocer a estas personas que he mencionado porque han sido un poco olvidadas. Porque es obvio que en la era de la biología molecular, la valinomicina entra en la categoría de las pequeñas moléculas y en todo lo referente al transporte de iones potasio hay más química que biología, pero los químicos no trabajan en los aspectos biológicos... Es una pena. Conocía a Ovchinnikov bastante bien, no así a Shemyakin, al que creo que solo vi en una ocasión. De hecho, estuve en Moscú hace tres semanas y dí una charla en el Instituto Shemyakin-Ovchinnikov donde conocí a Tatiana Ovchinnikova. Le dije que, para mí, ellos fueron la inspiración.

**Usted hizo su tesis doctoral con Ourisson sobre química de productos naturales.**

La química de productos naturales es una fantástica forma de aprender. Tenías que hacer la extracción, el aislamiento, obtener algunos derivados, y después realizar los análisis químicos -la RMN era muy reciente-, así que considero que fue fantástico trabajar en la química de productos naturales para mi aprendizaje. Después me fui

con Woodward y con él trabajé en el gran proyecto de la síntesis de la vitamina B12. Por aquel entonces, me hice amigo de Roald Hoffman, que es un poco mayor que yo y había terminado su doctorado con Martin Gouterman y William Lipscomb, y como nos hicimos muy amigos, hice algunos cálculos con él. Fue una época fantástica.

**Con un importante bagaje en química de productos naturales al terminar la tesis doctoral, marchar a Estados Unidos para trabajar con Woodward en la síntesis total de la vitamina B12 era una de las cosas más atractivas a las que podía aspirar un joven químico en aquellos años.**

Sí, Woodward ya tenía en aquel tiempo esa imagen o ese estatus como uno de los mejores químicos del mundo. Yo estaba allí en 1964, que fue cuando Albert Eschenmoser vino a Harvard y empezó la colaboración entre ellos.

**“Para mí el principal problema, ligado al contexto filosófico, es la autoorganización”**

**¿Qué le llevó a interesarse en el estudio de las interacciones intermoleculares?**

En cierto modo, es difícil explicar cómo llega uno a tomar una decisión de este tipo porque siempre hay más de una causa, pero intentaré contestar la pregunta. En primer lugar, no quería continuar con los productos naturales porque no creo que debas dedicarte de por vida al trabajo que hiciste durante tu tesis doctoral. El trabajo postdoctoral sobre la síntesis de la vitamina B12, era un tema de Woodward y Eschenmoser; no había forma de competir, y tampoco era mi intención. Así que al principio, cuando volví a Estrasburgo, me dediqué a la física molecular. Esto no es muy conocido, pero llegamos a publicar en *Molecular Physics*. Estudiamos el movimiento molecular en líquidos. De hecho, introdujimos en Estrasburgo la química orgánica cuántica, no exactamente yo, sino gracias a un colega francés que por aquel entonces estaba trabajando con Enrico Clementi (el que desarrolló el primer programa *ab-initio* llamado IBMOL). Pensé que era un campo importante después de haber hecho cálculos con Hoffman y conocer algo del tema. Yo había estudiado algo de física cuántica en Harvard, asistí a unos cursos en los que solíamos usar un libro en francés -*Messiah*-, sobre mecánica cuántica.

**Eso sí que supuso un cambio.**

Sí. Pero quería hacer algo diferente, y además en aquel tiempo estaba interesado en RMN (resonancia magnética nuclear). Esa fue una de las razones para interesarme en la física. Así que la RMN volvió a aparecer en mi vida aunque ahora la usaba para estudiar el movimiento de moléculas en líquidos, la dinámica de los procesos conformacionales, inversión de anillos, inversión de nitrógeno y cosas como esas, además de cálculos de química cuántica orgánica. Durante cuatro años, hasta mediados de la década de los 70, publicamos bastante sobre química orgánica cuántica. Pero esto iba en paralelo a todo lo demás. Creo, aunque parezca increíble, que mi motivación fue la siguiente: yo quise estudiar filosofía y en el último año de instituto, escogí filosofía y ciencias experimentales. Cuando estudias filosofía, te interesan los grandes temas. ¿Cómo podría un químico contribuir al estudio de dichos grandes problemas? La filosofía se elabora en el cerebro, así que podríamos

**“Me atrevería a decir que el ordenador más potente que tenemos es el cerebro, y el cerebro está autoorganizado”**

intentar estudiar el cerebro desde un punto de vista químico. Probablemente haciendo neuroquímica. Pero, ¿cómo hacerlo? O bien estudias biología, haces biofísica y vuelves a empezar de nuevo, o intentas encontrar la forma de hacerlo con los conocimientos y el bagaje científico que tienes. Sabía que la transmisión del flujo nervioso está relacionada con los gradientes de sodio y potasio y con la propagación a través de las membranas. Así que me dije: el sodio y el potasio son algo pequeño, algo con lo que puede tratarse químicamente. Pero debe de haber proteínas y compuestos en la membrana de las células nerviosas que pueden distinguir entre el sodio y el potasio, dos iones tan próximos en la tabla periódica, diferentes en tamaño, pero con la misma carga. ¿Cómo pueden hacer eso? ¿Es posible encontrar sustancias químicas que transporten selectivamente tanto sodio como potasio a través de una membrana? Y entonces apareció la valinomicina. ¡*Voilà!* La valinomicina realiza un transporte selectivo de potasio en la mitocondria. Así que tomando como modelo la valinomicina vamos a fabricar péptidos cíclicos. Son muy interesantes pero no muy estables; si



los expones a un ácido o a una base, desaparecen. Así que, ¿hay maneras de conseguir que estas sustancias sean más estables y que sean selectivas? Entonces, ocurrieron tres cosas: 1) Wilkinson había publicado un artículo sobre la solubilización de los metales alcalinos en THF (tetrahidrofurano), utilizando lo que ahora denominamos éter 12-corona-4 (un compuesto cíclico con átomos de oxígeno); 2) Existía un trabajo de Herbert Brown en el que utilizaba diglima, y al final del artículo había una referencia o una nota explicando que probablemente la diglima compleja sodio; 3) y entonces apareció el artículo de Pedersen. Así que mi mente estaba preparada, y cuando vi el artículo de Pedersen dije: «obviamente». Pero tienes que ser más selectivo para hacer mejores compuestos en 3D. No hacer un anillo con una cavidad en 2D, hay que hacer una cavidad en 3D.

Continuando con ese tipo de razonamiento ves que el Na y el K son sólo dos de una serie, y entonces el problema que uno debe plantearse es cómo distinguir un ion de entre un grupo de iones. Necesitas reconocimiento molecular, que se basa en interacciones entre entidades no covalentes, es decir, en química supramolecular. La primera vez que trabajé en química supramolecular fue en 1978, y los resultados se publicaron en dos artículos: uno en *Accounts of Chemical Research* (Informes sobre Investigación Química); y el otro más detallado en *Pure and Applied Chemistry* (Química Pura y Aplicada). Al principio, estos trabajos no fueron bien valorados por algunas personas que argu-

mentaron que «la biología es la encargada del reconocimiento molecular, que eso no es tarea de la química». Tuvieron que pasar 5 ó 6 años para que la química supramolecular empezase a ser generalmente aceptada.

**Pero era un área en la que ya se trabajaba. A finales de los 70 tuvimos en nuestro laboratorio algún contacto con Fraser Stoddart, también del mundo de la química de carbohidratos, que proponía un concepto parecido y que él definía como química extramolecular o algo así...**

Fraser empezó a mediados de los 70 en este campo, así como David Reinhoudt, con el que yo tenía una especie de competición. El tercero era Howard Simmons en Du Pont. De hecho, Howard tenía en Du Pont todo lo necesario pero quizás no sacó todo el partido de sus facilidades. Por aquel entonces, estaban el laboratorio de Pedersen y el de Howard Simmons. Era muy buen amigo y dio una charla en Estrasburgo en junio de 1969. Yo sabía que Du Pont podría ser la competencia. Ese mismo día supe que nuestra patente sobre criptandos y criptasas había sido aceptada, así que hablé con Howard, que se sintió un poco decepcionado. Pero era un buen amigo. Estaba en la vanguardia por aquella época. Después llegó Reinhoudt, que estaba también en la industria por aquel entonces, Shell, y estaba interesado en el reconocimiento y la interacción de algunos iones. Utilizaba DME (dimetoxietano) y cosas por el estilo, así que se introdujo también en el campo de los éteres corona. →



#### Y también Breslow...

Sí, Breslow entró algo antes; trabajó con ciclodextrinas durante mucho tiempo y publicó numerosos artículos. Estaba en la misma línea que Cramer.

**Al mismo tiempo, estaban también los que hacían química biológica. En los 50, Perutz y otros publicaron las primeras estructuras 3D de proteínas. En los 70, la interacción biológica entre carbohidratos y proteínas, tomando como punto de partida las estructuras 3D obtenidas por difracción de rayos x, comenzaba a emerger. Aquellos años iniciamos nuestra relación con Ray Lemieux en Alberta. Ray ya había hecho sus conocidas contribuciones sobre el efecto anomérico y el efecto exoanomérico y se estaba aventurando en el campo del reconocimiento molecular. Estaba bastante interesado en la interacción entre carbohidratos y proteínas, anticuerpos y lectinas y en el papel del agua en el proceso de reconocimiento. En cierto modo una línea de investigación paralela a la de los químicos supramoleculares.**

En efecto.

**¿Qué hay de los desarrollos subsiguientes? ¿Pienso que el año 1987 fue el momento crucial?**

Fue un paso. Fue muy agradable. Puede que significase que el campo se afianzaba con todos los honores. También tuvo como consecuencia que más laboratorios empezaran a interesarse en estos temas.

En el momento actual, para mí el principal problema, ligado al contexto filosófico, es la autoorganización. Para un químico, entender cómo la materia puede convertirse en algo que viva o que piense... Eso es en mi opinión la última frontera. A veces intento provocar a los físicos cuando hablan de la importancia de la relatividad general o de la mecánica cuántica. Les digo: ¿no es más importante llegar a entender cómo ha sido posible que Einstein o Planck hayan podido existir? Las ideas generales pueden estar subyacentes, pero ¿qué hay sobre dicha pregunta? Este es uno de los grandes problemas al que se está enfrentando la química.

El otro día recibí una llamada de un escritor científico de una revista de alto impacto respecto a un artículo sobre los grandes problemas de la ciencia. Los físicos le dijeron que estaban estudiando las leyes del Universo. Un gran problema. Los biólogos estaban estudiando las leyes de la vida. Un gran problema también. Y los químicos hacen moléculas y materiales, ¿dónde

está el gran problema? Le dije: «quizá tengamos el problema más grande». Para que sea posible descubrir y enunciar las leyes de la física o de la biología, es necesario generar de la materia una entidad capaz de formular dichas leyes». Es difícil entender cómo esto ha sido posible. Algunas personas tienen una respuesta simple: hay un ente que está por encima de todo y que lo explica todo. Pero esa no es una respuesta a la pregunta, es tan solo ignorarla. Es otro punto de vista, pero no proporciona una respuesta.

**¿Piensa que la química dinámica constitucional o la química adaptativa son los pasos siguientes para buscar la respuesta?**

Sí, ese es el siguiente paso. Voy a contar cómo llegué a esos conceptos. Jeremy Sanders ha hecho también numerosas e importantes aportaciones en este campo. Nosotros hemos preparado dobles hélices y heli-catos con 2, 3, 4 y 5 iones metálicos. Un día mezclamos estos

**“La dinámica constitucional sirve para la descripción de estructuras; la funcional es la adaptativa, y es la más importante”**

ligandos, añadimos iones metálicos y observamos qué ocurría. Tuvo lugar un autorreconocimiento: se eligieron unos a otros. Esto ocurre porque se produce un equilibrio y finalmente, la termodinámica dirige el sistema hacia las constituciones más estables. Y estudiamos otros casos a principio de los 90. Esto da la idea de que, de hecho, una mezcla es más rica que un compuesto puro siempre que la información, las instrucciones precisas para que se mantenga la selectividad, para controlar el proceso, se mantengan. Esto refuerza la idea de que la dinámica del sistema es importante.

Y en otros casos donde la cinética es más lenta, descubrimos que hay muchas cosas que no conocemos en el proceso. Hay procesos dinámicos donde la construcción progresiva de la entidad final se hace a través de vías que pueden ser complejas. Se trata de un sistema dinámico. Te das cuenta de que siempre has dado por hecho que la química supramolecular, que está basada en interacciones débiles, es dinámica. Sabemos que las entidades supramoleculares no son tan estables como los sistemas covalentes pero nunca has pensado antes que puedes

utilizar en tu provecho esta propiedad básica de la química supramolecular.

Así decidimos hacer algo que la química orgánica detesta hacer: preparar moléculas que se rompan con facilidad. En este caso tienes mezclas y puedes crear diversidad. Introduces enlaces reversibles como iminas, sulfuros, etc, y llegas a la conclusión de que la química covalente puede ser también dinámica. La química dinámica es la que preside la constitución: dinámica de las reacciones, del movimiento molecular; la dinámica es intrínseca a la constitución de moléculas. Lo que hay que observar es la dinámica. Si lo puedes hacer, la dinámica del proceso la puedes adaptar. Si cambias las condiciones, el sistema cambiará por sí mismo. La dinámica constitucional sirve para la descripción de estructuras; la funcional es la adaptativa, y es la más importante. Por tanto, la dinámica constitucional es una especie de paso intermedio entre lo supramolecular y lo adaptativo. Después de todo, quieres lograr sistemas que respondan a lo externo, y si son dinámicos, pueden hacerlo.

**Lo difícil es programar el sistema.**

Dejar que escoja lo que necesita, que se adapte. Si añades protones, o átomos de sodio o potasio.... Es una respuesta a cambios internos o externos. Por ejemplo lo hemos hecho con laminina artificial como polímero común, pero ahora estamos haciendo peptoides dinámicos con la esperanza de que, incluso haciendo aminoácidos con grupos funcionales que pueden formar enlaces reversibles, lo cual no es en realidad un péptido sino un peptoide (una especie de derivado), con la siguiente idea: si una de las combinaciones lleva a una estructura plegada con alta estabilidad en una mezcla de aminoácidos de ese tipo, deberíamos generarla.

**Podríamos estar generando una función biológica.**

Sí. Lo primero es la estabilidad termodinámica. La función es mucho más complicada. Y esto pudo haber sido importante en los orígenes de la vida. Al principio, había algo de dinámica antes de que existiese la vida, algo de evolución, y dicha evolución estaba controlada por los principios constitucionales de una estructura plegada, que es más estable que otras, tiene más posibilidades de que se produzca. Eso es química adaptativa, y la siguiente es la evolutiva, que es mucho más complicada.

**Es una evolución distinta, no es darwiniana, es anterior.**

Es evolución pre-darwiniana.

**Hablemos de cosas más aplicadas. ¿Cómo ve el proceso de autoensamblaje para producir nanoestructuras? Ahora que la nanociencia está de moda, parece que todo el mundo se dedica a la nanociencia y a la nanobiotecnología... No sé en Francia, pero en España hay una especie de competición entre los físicos y los químicos. La aproximación química a la nanociencia el *bottom-up approach* (planteamiento ascendente a la nanociencia) parece tener un gran potencial, principalmente en el campo de las nanobiociencias.**

Eso es.

**“La microelectrónica y la futura nanoelectrónica han producido fantásticos objetos que nos ofrecen oportunidades que nunca hubiésemos imaginado”**

**Así que, ¿cómo ve el futuro de los procesos químicos de autoorganización en el campo de la nanociencia?**

Evidentemente, para los físicos la nanociencia ha creado estos objetos tan fantásticos que tenemos, estos ordenadores. No tengo uno, intento protegerme, pero cuando ves estos pequeños objetos, estos iPads, con los que puedes conectarte con todo el mundo... Es fantástico. Hoy en día, la microelectrónica y la futura nanoelectrónica han producido fantásticos objetos que nos ofrecen oportunidades que nunca hubiésemos imaginado. Se fabrican. En algún punto puede que te encuentres con que no puedes hacer las cosas más pequeñas mediante las técnicas físicas de nanofabricación, porque lo que quieres es demasiado pequeño o el proceso es demasiado lento cuando el objeto es tan pequeño. Si utilizas STM (microscopía de efecto túnel) o técnicas similares, puedes hacer muchas cosas, pero conlleva mucho tiempo. Sin duda, se inventarán maneras de ir mucho más rápido. Pero en algún momento se puede tocar techo y, además, continuar en esa dirección puede ser muy caro. Así que puedes preguntarte si no es posible sacar ventaja de la capacidad de autoorganización de la materia, que el objeto se haga solo. Por el momento, hay ilusión, pero no solo, porque hace mucho que sabemos hacer monocapas autoensambladas y puedes tomar fotos de ellas. Ahí está la autoorganización; así que me atrevería a decir que el ordenador más potente que tenemos

es el cerebro, y el cerebro está autoorganizado: no lo haces tú, se hace él mismo. Y sus componentes, y sus neuronas, son más grandes que lo nano o lo micro. De hecho el ordenador más potente, no en términos de habilidad para ejecutar una operación concreta (para eso los ordenadores normales son mucho mejores), sino en términos de integrar un grupo de operaciones complejas, es el cerebro, que está autoorganizado. Así que deberíamos combinar este poder de la materia para autoorganizarse con la programación e intentar hacer objetos futuros donde haya distintos niveles: primero, organizas algo; esto crea un contexto para que se produzca el siguiente paso de autoorganización, y así sucesivamente. No tengo respuestas para explicar cómo eso puede ocurrir. Si me pides que haga un esquema, sólo podría escribir dos etapas, nada más. Y esto todavía está muy lejos de ser lo máximo que puede hacerse. Usando una tautología: el hecho de que algo exista significa que es posible que exista. Tenemos la respuesta en nosotros mismos que somos el fruto de la autoorganización, así que veamos cómo esto es posible y si la ciencia es capaz de explicarlo. La naturaleza nos ha creado en un proceso de autoorganización y solo cuando entendamos cómo funciona la naturaleza, podemos ir más allá, y quizá, algún día, podamos entender cómo suceden estas cosas. Puedes soñar y entrar en el campo de la ciencia ficción. La pregunta es: ¿Qué hay más allá de tu pensamiento? ¿Hay algo? La ciencia puede darnos ese poder de autotransformarnos. ¿Qué haremos? No lo sé, pero posiblemente lo hagamos. Y en diez mil años no seremos los mismos.

**Considerado así, no somos más que otro paso intermedio en la evolución.**

*Voilà, exactement.* No tenemos por qué ser el final de la evolución. Pero creo que podremos dirigir nosotros los siguientes pasos en la evolución. Eso también es parte de la evolución. El entendimiento de cómo hacer todo esto es también parte de la evolución. Es natural hacer cosas que la gente piensa que no son naturales, pero todo es parte del Universo. Pienso que el concepto de naturaleza y no naturaleza es una idea estúpida, no los puedes separar. El hecho de que lo hagamos es parte de la naturaleza, lo que produces puede ser solo parte de la naturaleza.

**Es pensamiento relativo, depende de dónde estés. Recuerdo a algunas personas que trabajan en biología y en recursos naturales que cuando discuten sobre el futuro de la Tierra como resultado de la**



“Pienso que el concepto de naturaleza y no naturaleza es una idea estúpida, no los puedes separar”

contaminación siempre dicen lo mismo: todo es naturaleza. Cuando pones algunos condicionantes en el sistema, el sistema evoluciona en una dirección determinada. Evolución dirigida.

Así que depende de lo que pongas en el sistema, de cómo controles el sistema, de cuál sea el programa. Si supieses cómo va a responder el sistema a tus estímulos, sabrías mucho. Para seguir avanzando en nuestra charla quizás podríamos preguntarnos si estamos preparando adecuadamente a los químicos para afrontar estas cuestiones: ¿Cómo vemos la situación de la química en Europa y cuál es su futuro? ¿Existe una educación adecuada en química para afrontar el futuro? ¿Las autoridades europeas siguen las políticas adecuadas para asegurar un gran futuro a la ciencia en Europa? ¿Cómo lo ve como científico?

Soy europeo convencido y no me mudaría a los Estados Unidos, donde he tenido muchas ofertas. Me gusta estar cerca de Salamanca, Florencia, Venecia, Viena, Londres, Ámsterdam, París... Me siento europeo. Y nuestra única salida es hacer una Europa más fuerte. En la actualidad estamos evolucionando mal debido a la situación económica y a la crisis. En períodos de dificultades la gente tiende a retrotraerse, a separarse, a aislarse.... Y eso es precisamente lo que no hay que hacer. Si nos

aíslamos de nuevo, tendremos los mismos problemas que tuvimos en el pasado. Schengen, por ejemplo, al que muchos les gustaría renunciar ahora mismo, ha supuesto un extraordinario avance. Perderlo sería completamente inaceptable. Sería una gran recesión. Una vez tuve una reunión en San Petersburgo y tenía a continuación otra reunión en Vilnius. Pensamos primero en ir desde San Petersburgo a Tallin, dar allí unas conferencias, alquilar un coche y conducir hasta Vilnius. Cuando alquilé el coche en Tallin (Estonia), pensé que podía conducir hasta Lisboa sin que nadie me preguntase nada. Ahora la gente no se da cuenta de lo que representa que puedas moverte por toda Europa libremente entre diferentes culturas, ciudades y países... es un buen ejemplo de cambio y progreso. Y tanto algunos jóvenes como muchos mayores tienen miedo de eso. Para mí, Europa es nuestro futuro. No me gustan las banderas. La única bandera que acepto es la europea porque representa la unión entre personas. Normalmente, una bandera tiende a separarnos unos de otros.

**Yo también creo que debemos mantener a Europa unida y hacerla más fuerte. Eso no es fácil, y es especial ahora. ¿Pero cómo ve la política científica en Europa?**

Hay evoluciones muy positivas. Por ejemplo, el Consejo Europeo de Investigación (ERC) ha introducido ayudas a la investigación a nivel europeo donde se valora al investigador y al proyecto y no a la institución. En Europa tenemos una cultura diferente a la de los Estados Unidos, de los que tenemos mucho que aprender. Está bien otorgar financiación a las instituciones para que puedan funcionar, pero no para que realicen toda su actividad investigadora. Los investigadores europeos tienen que adquirir la cultura de proponer proyectos que serán evaluados y financiados si obtienen una evaluación positiva. Sabemos que esas evaluaciones a veces son buenas y otras no tanto, pero así son las cosas. Así que considero que la introducción de la financiación por proyectos, como hace ya la ANR (Agencia Nacional de Investigación) en Francia, o el ERC, ha cambiado mucho el panorama de la ciencia en Europa. Y está empujando a otros países en esa dirección. La idea de apoyar ideas y proyectos antes que financiar laboratorios es muy importante.

**Nosotros también tenemos ese sistema en España desde hace más de 20 años. Los Programas Marco de la UE también usan ese sistema con los proyectos europeos. Mi pregunta, sin embargo, va en otra dirección, ahora que el ERC está operativo. Ahora sí es posible, por primera vez en muchos años, financiar la buena ciencia básica a nivel europeo a través del ERC pero hasta ahora los diferentes programas de los Programas Marco han estado muy orientados a la industria...**

Y es tan complicado, hay tanta burocracia... Nunca fui partidario de eso porque había que hacer mucho trabajo burocrático. Creo que necesitamos adaptarnos. Esto sucede porque los políticos no quisieron darles mayor protagonismo a los científicos. El ERC es lo que está más cerca del control de los científicos. Considero que una vez que has decidido que un proyecto es bueno, debes poner la financiación en las manos del investigador y darle total responsabilidad. En los Estados Unidos obtienes tu dinero y haces lo que quieres. Al final se te evalúa. Y es así cómo se hace. Te dan dinero y responsabilidad -posteriormente serás evaluado- y si el resultado final no es bueno, no obtienes más financiación. Creo que es muy mala idea intentar controlarlo todo paso por paso. Europa tiene todavía mucha burocracia.

**Tengo experiencia en algunos de esos proyectos. Yo también, pero nunca como coordinador. ¿Los coordinadores tienen tanto trabajo? Es un trabajo a tiempo completo.**

**Es algo que creo que debemos cambiar de alguna manera.**

El ERC es muy buen paso, que va en la dirección correcta. La UE está invirtiendo mucho, incluso los americanos están sorprendidos. Por ejemplo, si quieres atraer un científico bien reconocido de otro país a Francia, existen grandes facilidades. El investigador en cuestión puede obtener una cátedra de excelencia, donde puede recibir de 1,5 a 2 M€. Pueden solicitar un ERC senior, y si son tan buenos, lo conseguirán. Son otros 2,5 M€. Es mucho dinero y no lo consigues en Estados Unidos. Así que nuestro sistema puede ser muy bueno. Tenemos que hacer que funcione, tenemos que aceptar la evaluación, tenemos que aceptar que algunas cosas son mejores que otras. Y tenemos que ser conscientes del hecho de que China se está haciendo muy fuerte. Publican un gran número de artículos, y la calidad está mejorando muchísimo, y como es un país grande con 1.200 millones de personas, tienen grandes mentes.

**Para acabar me gustaría incorporar el tema de la educación. ¿Cómo ve el panorama de la formación en química? En Francia lo conoce mejor... No sé si lo habrá leído, pero creo que fue en el primer número de la revista Nature de este año en que se celebraba el Año de la Química, donde George Whitesides ha publicado un artículo bastante crítico sobre la situación de la química. El argumento principal es que los químicos siguen trabajando en áreas convencionales y tradicionales, no asumen riesgos, considerando que existen muchas oportunidades fuera de las fronteras tradicionales de la química, tales como la biología o la sanidad. Se queja de que la comunidad química de investigadores es muy conservadora en el sentido de que la ciencia cada vez es más interdisciplinar y la formación en química es todavía muy convencional y clásica. ¿Qué opina de ello?**

“En Europa tenemos una cultura diferente de la de los Estados Unidos, de los que tenemos mucho que aprender”

Pienso que está en lo cierto, estoy de acuerdo. Tenemos que mirar las fronteras e interactuar con otros campos. Y la química, como mucha gente dice, es una ciencia central, es decir, tiene muchas interrelaciones, y cada una de ellas puede ser extremadamente productiva y original. La química tiene también un núcleo: el desarrollo de nuevas reacciones, lo que puede considerarse como clásico pero que creo que está totalmente justificado seguir cultivándolo. Cuando se sintetizó la vitamina B12, no había reacciones de metátesis ni había reacciones de acoplamiento cruzado que cambiaron luego el mundo de la química. Y creo que el desarrollo de estas reacciones ha sido algo muy importante y que se desarrollarán muchas otras reacciones en el futuro. ¿Pero cómo pedir a un químico que trace un plan preciso? Solo hacer compuestos, puede ser muy aburrido o muy emocionante. Diría que es bueno trabajar en temas interdisciplinares con la biología, y con la física podrían describirse nuevos materiales, nuevas propiedades: otros superconductores, materiales magnéticos, etc. Coincido en que la interdisciplinar es la manera más beneficiosa de trabajar en química, pero tenemos que atender al núcleo de la química, y es absolutamente necesario desarrollar nuevas reacciones, nuevos procesos; porque la biología no nos habla sobre acoplamiento cruzado, no

ha inventado la metátesis. Por el contrario, los químicos son conscientes de todo eso. Quizás no deberíamos quejarnos demasiado: hay químicos conservadores al igual que biólogos o físicos conservadores... Quejémonos lo suficiente para impulsar a los químicos a explorar en la interfase con la biología, donde la complejidad de los sistemas enriquece los problemas químicos que se nos plantean; o en la interfase con la física, donde podemos hacer cosas impredecibles. Así que, la enseñanza de la química debería ser más integrada. Esto no es fácil y requiere tiempo. Además, la formación básica debería de incluir enseñanza más experimental. Siento que el mayor atractivo de la química radica en que puedes actuar sobre la materia y puedes manipular los productos, para obtener cosas nuevas. Esto es el principio. Enseñar las técnicas trabajando experimentalmente con ellas como nos enseñó Leo Lederman, Premio Nobel de Física, en Chicago. Este tipo de enseñanza se introdujo en Francia, en las escuelas primarias para despertar la curiosidad de los niños. Los niños pueden preguntarte por qué se forma una burbuja, qué son las burbujas en el cava, problemas muy complicados. Cuando yo estaba en primaria tenía lo que llamábamos *Leçons des Choses* (Lecciones de las cosas), que integraban fenómenos prácticos, con preguntas sobre éstos y creo que esto necesitamos reintroducirlo. Necesitamos especialistas, necesitamos saber de matemáticas, de física, de química, pero también deberíamos integrar el problema de desafiar la curiosidad. Creo que el potencial actual de los bancos de datos, los ordenadores e internet es muy importante. Tenemos que cambiar la forma de enseñar. Puedes encontrar

en internet una charla sobre, por ejemplo, reacciones de los alcoholes o los ácidos. Lo que un profesor debería decir sería: «lo buscáis en un libro, en internet... y después lo debatimos». Haces preguntas, entonces vuelves a lo socrático: intentas extraer las preguntas y responderlas, para que la gente tenga que reflexionar sobre ello y no solo copiar aquello que el profesor está diciendo y aprenderlo. Quieres que sepan pero que piensen. Tenemos que dejar los bancos de datos a merced del conocimiento. La primera cosa que tienes que hacer es escoger tus datos, tienes que saber cosas, y tienes que trabajar en ello, el *hardware* es importante pero también lo es el *software*. Evidentemente, no puedes tener *software* sin *hardware*, pero el *software* es la manera de hacerlo eficiente. Enseñar debería ser una manera de hacer que la gente piense sobre lo que importa.

**Y sin olvidarnos de ir al laboratorio y de los experimentos...**

Por supuesto. Y eso es caro. Esa es una de las razones por las que yo hacía más experimentos cuando estaba en el instituto que los que hacen los chicos ahora. Por una parte porque los experimentos tienen un peligro potencial y hoy nadie asume riesgos y porque hacer experimentos es caro y los presupuestos no son suficientes. Pero hacer experimentos en la escuela y el instituto es esencial para una buena educación tanto en química como en física.

**Me temo que nuestro tiempo hace tiempo que concluyó. Muchas gracias. Ha sido para mí un placer mantener esta interesante conversación. ■**

