

## NOTAS

### Premios Nobel de Química y Física 2012

MANUEL CASTILLO MARTOS  
Catedrático Emérito de Historia de la Ciencia (Sevilla)

#### CRISIS ECONÓMICA *VERSUS* CRISIS EN CIENCIA

En la situación actual socio-económica que vivimos, se impone una reflexión acerca de lo que está ocurriendo con la ciencia, el trato que recibe y los esfuerzos que hay que hacer para que lo conseguido hasta ahora continúe en el futuro.

En el barómetro de Demoscopia de enero pasado sobre confianza institucional, uno de los colectivos que más confianza merece a los ciudadanos es el de los científicos. Pues bien, cada vez tiene más problemas para llevar a cabo su trabajo e incluso para sobrevivir. La relación entre ciencia y Gobierno se da en las dos direcciones posibles. Por una parte aquel se enfrenta cada vez más a cuestiones en las que deberían tener en cuenta los datos que proporciona la ciencia, siempre que sean elaborados de forma transparente e independiente. Es posible que sea uno de los aspectos que los ciudadanos más valoran por su objetividad. Distinguir entre quienes asesoran y quienes deciden es esencial en una sociedad democrática, pero que de forma transparente las decisiones se tomen tras valorar los mejores datos científicos disponibles parece imprescindible. Los Gobiernos de los países más avanzados suelen tener instancias para consultar a la hora de tomar decisiones, algo prácticamente desconocido en España.

Hay otra diferencia sustancial entre lo que se hace en nuestro país y en otros de nuestro entorno europeo: en estos hay diferenciación entre lo que financian organismos públicos, investigación dirigida a obtener ideas nuevas desde el estudio en una ciencia básica, y la financiación privada, dirigida a resolver cuestiones concretas de interés para la sociedad y la industria por las aplicaciones de sus resultados a corto plazo. La investigación creativa, en todos los países del mundo, es una competencia del Estado que tiene que velar para que sea de la mejor calidad posible. Y es en este punto en el que la realidad actual muestra su aspecto más descorazonador.

Muchos grupos de científicos que trabajan en centros de prestigio internacionalmente reconocido critican al Gobierno porque no disponen de fondos recurrentes para llevar a cabo sus investigaciones con continuidad, sino que compiten de forma periódica para conseguirlos. Es conocido que el Plan Nacional es la aportación básica para que los investigadores tengan los medios para realizar la labor por la que reciben su salario. Gracias a estos fondos de base los investigadores españoles, del CSIC y de las Universidades, compiten a nivel internacional y negocian contratos con empresas e industrias. Si no se convoca el Plan Nacional, o se hace infradotado económicamente, se produce una de las circunstancias más adversas para el desarrollo de la actividad investigadora, no solo por el impacto directo, sino por la inequívoca señal de falta de credibilidad de la política I+D+i a nivel internacional.

Tal situación viene siendo denunciada por destacados científicos, por ejemplo, investigadores del CSIC denuncian en la UE la situación de la ciencia en España, al hacer imposible la captación y retención de talentos, y por ende el desánimo en dicha comunidad al no encontrar un entorno estimulante para su trabajo. La denuncia se concreta en que hay ausencia de una política clara y decidida respecto al futuro de la investigación científica en España. Falta planificación, administración y gestión de los recursos aplicados al desarrollo de la ciencia. No hay una acción concreta de Gobierno, lo que contribuye a la decepción y desmoralización de los investigadores. Por ello, pensamos que es necesaria una profunda y urgente reforma que conduzca a una decisión política y económica imprescindible para que sea efectiva a la hora de paliar los males apuntados.

En los últimos años estamos ante una disminución significativa de la dotación total en I+D+i que de modo difícilmente reversible afecta al cambio que debe hacerse, que no es otro que ir hacia un modelo productivo basado en el conocimiento. La situación actual de la investigación científica y técnica en nuestro país, tiene una doble lectura, una primera de moderado optimismo por los logros alcanzados, y una segunda de intensa preocupación por su futuro, precisamente ahora que es más necesaria para una mejora de nuestra competitividad. Así, frecuentemente se alude al bajo lugar ocupado por nuestras universidades en los *rankings* internacionales, a la ausencia de premios Nobel científicos españoles recientes, al escaso número de patentes solicitadas desde organismos y empresas españolas, etc. Es verdad la afirmación que los países más desarrollados son ricos porque invierten o han invertido en I+D+i. Nuestro esfuerzo en este capítulo se encuentra todavía demasiado alejado de los países más desarrollados, y no se debe olvidar que el conocimiento ha sido el gran protagonista del crecimiento del producto interior bruto (PIB) y de la productividad en la práctica totalidad de las economías desarrolladas a lo largo de las últimas décadas, y que además el PIB basado en el conocimiento resiste mejor los periodos de crisis, idea que no está presente en los actuales gobernantes.

En particular las ciencias más influyentes hoy en España son las «bio», unidas a la Química, la Física, las Matemáticas, las Ciencias de Materiales y las Ingenierías. Y algunas áreas, como el sector de energías renovables, en el que España se encuentra en una posición destacada, aunque todavía frágil. Cabe concluir que nuestro país ha alcanzado un desarrollo científico-tecnológico razonable en lo que se refiere a inves-

tigación científica académica, si bien algunos indicadores relacionados con la I+D+i en su sentido más finalista arrojan resultados sensiblemente inferiores, por lo que serán necesarias reformas urgentes.

Los científicos, los directores de centros de investigación y los rectores de universidades son conscientes de que el escenario económico actual no es el mejor para la mayoría —pero sí lo es para un escaso 2 % de la población—, pero si no se cambia la manera de afrontar la crisis económica, el necesario cambio de modelo de desarrollo impuesto por la creciente competencia internacional en conocimiento científico, tecnología y liderazgo empresarial no se conseguirá, pues ello exige priorizar en sectores la financiación dedicada a actividades de I+D+i. Los Presupuestos Generales del Estado para 2013, relacionados con la I+D+i civil, muestra una reducción concentrada, especialmente, en fondos no financieros, y ha aplazado una década el objetivo de invertir el 2 % del PIB en I+D. Datos comparativos con países de la UE, España está muy por debajo de la media de la UE: mientras que esta tiene un gasto I+D de 2,03 % del PIB, con el objetivo formal de alcanzar el 3 %, España tiene solo el 1,31 % de su PIB, y ocupa el lugar 16.º, según el INE. Así pues, dada la importancia de la ciencia para la sociedad, y que no hay ciencia aplicada sin ciencia básica, sorprende que el Gobierno arrincone la misma en la estructura del Estado, y haga los grandes recortes citados en Proyectos de Investigación I+D, a lo que se une la situación precaria de los puestos y ayudas a la investigación básica.

En este punto, recordar que Serge Haroche, uno de los Premios Nobel de Física de 2012, declaró a la agencia de noticias Reuters, que esperaba que el galardón le diera la plataforma apropiada para *«comunicar ideas, no solo en este campo de investigación sino en la investigación en general, la investigación fundamental»*.

El Gobierno redujo en un 15 % las subvenciones de I+D en 2012, y tiene previsto reducir un 14 % en el presente año. Y la contribución del sector empresarial al esfuerzo en esta área también es inferior a la de otros países europeos, disminuyó en un 1,5 % . Lo cual pone en peligro la continuidad de numerosos proyectos, grupos y centros de investigación. Se debería tomar conciencia de que existe riesgo más que probable que una parte importante de nuestro sistema de I+D se paralice y se destruyan las bases sólidas y sostenibles que mejoran el bienestar de los ciudadanos en el próximo futuro. En definitiva, un modelo económico basado en la generación de conocimiento solo tendrá éxito si se garantiza la estabilidad del sistema de investigación en términos de recursos económicos y humanos y si hay un sector privado que, más allá de las declaraciones de intenciones, apueste de verdad por la investigación y la innovación. Por ello, resulta contradictorio mantener la retórica del cambio a un modelo productivo basado en el conocimiento, mientras que muchas de las medidas que se adoptan no van en la dirección adecuada. La investigación en nuestro país es hoy día una prioridad a prueba.

En la Universidad las perspectivas no son mejores: mientras que nueve países (Suecia, Noruega, Dinamarca, Polonia, Eslovaquia, Austria, Alemania, Suiza y Francia) han aumentado el presupuesto para educación superior desde 2008, España está en el grupo que más ha recortado, en torno al 15 % desde 2010, con pérdida de más de 3.000 docen-

tes, por tanto hay menos investigadores en la universidad española. Este hecho ha sido denunciado por los rectores que ven como se lastra el futuro del país, pues se está segando la garantía de futuro. Como es bien sabido, la ciencia es un proceso en el que recortes en la financiación un año tienen efectos profundos durante lustros. Y no solo que las economías basadas en el conocimiento resisten mejor los periodos de crisis, sino que reducir la inversión supone cercenar las posibilidades de crear una economía innovadora, imprescindible para garantizar la continuidad del modelo social vigente.

En Europa 42 Premios Nobel y 5 científicos distinguidos con la medalla Fields han dirigido una carta pública a los jefes de Estado y de Gobierno de la UE, «Ciencia para la prosperidad de la UE», para alertar de las consecuencias que tendría para el futuro económico, social e intelectual del continente recortar los fondos destinados a I+D+i, y que las tengan en cuenta a la hora de hacer el presupuesto de la UE para 2014-2020. Pero no ha sido tomada en cuenta, toda vez que los líderes europeos acordaron el primer recorte aplicado a un presupuesto comunitario, decisión que se traduce en un descenso aproximado al 12 % respecto a los 80.000 millones que Bruselas pretendía destinar a la investigación en los próximos siete años, hasta 2020.

En resumen, la deseable transformación estructural hacia un modelo productivo basado en el conocimiento requiere un esfuerzo prioritario y sostenido del sistema de I+D+i en términos de recursos económicos y humanos, una mejora de la gobernanza institucional, así como un sector privado que apueste verdaderamente por la investigación y la innovación. En cualquier caso, el apoyo sostenido a la investigación debiera ser una prioridad de interés general. ¿Cuándo veremos algún español recoger el Premio Nobel de Ciencia?, hace 53 años del último.

Para terminar este preámbulo, veamos lo que han dicho tres científicos:

Peter Higgs durante su visita a España, en noviembre de 2012, deploró el «*abandono terrible*» que está sufriendo el sector científico por parte del Gobierno español. Y ha lamentado que «*España nunca haya tenido ningún Gobierno que haya animado a la ciencia*», y ha insistido en que el Ejecutivo debe priorizar este sector por encima de cualquier otro para poder afrontar mejor la crisis actual y las posibles en un futuro. «*Por encima de todos los países europeos, España debería estar desarrollando un sector científico sólido*», ha añadido, y destaca la importancia de tener a una población joven interesada en este tipo de estudios.

Por su parte, el profesor M. Cavalli-Sforza ha asegurado que no entiende «*como puede ser que un Gobierno recorte en ciencia más que en otros capítulos del presupuesto*», y ha revelado que representantes de la European Organization for Nuclear Investigation han tenido una reunión con el Ejecutivo central para proteger la participación española en este organismo científico porque, según él, está en peligro.

Walker ha recordado que «*si se tienen personas bien formadas en un país, será mucho más fácil afrontar las adversidades*», por lo que ha animado a las administraciones a estimular la sociedad para acercarla al mundo de la ciencia: «*No invertir en ciencia significa que te retiras de este campo en el ámbito internacional y te quedas fuera*».

## PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2012

La Real Academia de Ciencias de Suecia ha concedido un diploma realizado en papel hecho a mano por los calígrafos más reconocidos de Suecia y Noruega, una medalla con la efigie de Alfred Nobel de oro verde de 18 quilates bañada en oro de 24 quilates, y 8 millones de coronas suecas (929.000 euros), 20 % menos que el año pasado, a estudios sobre receptores celulares, a través de los que logran sus efectos casi la mitad de los medicamentos, y que regulan múltiples funciones biológicas. Trabajo realizado por los científicos estadounidenses **Robert Lefkowitz**, que trabaja en el Instituto Médico Howard Hughes y en el Centro Médico Universitario Duke, de Durham, como profesor de Bioquímica; y **Brian Kobilka**, que desempeña su labor profesoral en los departamentos de Fisiología Celular y Molecular y en el de Medicina en la Escuela Universitaria de Medicina de Stanford, California.

Maestro y discípulo respectivamente, han recibido el galardón, según el jurado en recompensa a sus *«descubrimientos revolucionarios que revelan el funcionamiento interno de una importante familia de receptores: los receptores acoplados a proteínas G, pequeños receptores que permiten a cada célula sentir su ambiente, lo que les facilita adaptarse a nuevas situaciones»*. El fallo apunta también que *«alrededor de la mitad de todas los medicamentos logran su efecto a través de los receptores acoplados a proteínas G»* (G protein linked receptors, GPLR, de sus siglas en inglés), por lo que la descripción de su *«funcionamiento interno»* llevará a grandes avances en este ámbito, por ejemplo, regulan múltiples funciones biológicas y han abierto la puerta a nuevas e importantes dianas farmacológicas, *«hasta el 50 % de todos los productos farmacéuticos tienen como finalidad actuar sobre ellas . Saber cómo son y cómo funcionan nos dará herramientas para crear mejores medicamentos con menos efectos secundarios»*. También ha resaltado el Jurado, que han desvelado el misterio que existía *«durante mucho tiempo sobre la forma en que las células sentían su entorno»*. Los científicos sabían que hormonas como la adrenalina tenían poderosos efectos: aumentando la presión sanguínea y haciendo al corazón latir más rápido. Por ello, se sospechaba que la superficie de las células debía tener algún tipo de receptores de las hormonas y fueron las investigaciones de los dos laureados las que arrojaron luz al respecto.

*«Alrededor de la mitad de los medicamentos actúan a través de estos receptores, entre ellos los bloqueadores beta, los antihistamínicos y varios tipos de medicamentos psiquiátricos»*. El desarrollo de mejores formas para llegar a los receptores es de sumo interés para las compañías farmacéuticas y de biotecnología. Ahora, gracias a los estudios de Lefkowitz y Kobilka, será posible manipular estos receptores con mayor precisión para obtener mejores efectos de los fármacos, sin sufrir los daños producidos por unas sustancias de las que, en el fondo, se desconocía por qué funcionaban.

Lefkowitz comenzó a usar radiactividad en 1968 para descubrir estos receptores celulares, explica la Academia. Unió un isótopo de yodo a varias hormonas y gracias a la radiación descubrió numerosos receptores, como el beta adrenérgico, para la adrenalina.

El siguiente paso se dio en los años ochenta, cuando Kobilka se incorporó al equipo. Este científico consiguió aislar el gen responsable del receptor beta adrenérgico de entre el inmenso genoma humano.

Al analizarlo, los científicos descubrieron que el receptor era similar a uno presente en el ojo humano, que captura la luz, por lo que concluyeron que existe una familia de receptores similares que funcionan de la misma forma. Esa familia ha sido bautizada como los receptores acoplados a proteínas G. En torno a un millar de genes codifican estos receptores, por ejemplo para percibir la luz, los olores, los sabores, la histamina, la adrenalina, la dopamina y la serotonina.

Además, en 2011 Kobilka consiguió otro logro: él y su equipo capturaron una imagen del receptor beta adrenérgico en el momento exacto en que es activado por una hormona y envía una señal a la célula. La imagen es «una obra de arte molecular».



Los receptores acoplados a proteínas G traducen los cambios fuera de la célula en información que genera respuestas.

Los GPCR se encuentran en la membrana exterior de las células. Cuando hay cambios, por ejemplo, en los niveles de adrenalina o neurotransmisores como la serotonina, los receptores son los que perciben estas moléculas fuera de la célula activando la comunicación con el interior de la misma y finalmente su respuesta. Los cruciales GPCR son los que permiten que medicamentos para la presión alta, el Parkinson, la migraña o problemas psiquiátricos tengan efecto.

Sven Lidin, de la Academia Sueca, inició el anuncio del Premio Nobel de Química 2012, con un grito frente a los periodistas reunidos en la sala. «*La descarga de adrenalina que se obtiene cuando uno se asusta, es solo una manifestación de esta vasta red de receptores que comunica una señal química a través de miles de millones de células, traspasando membranas celulares de otro modo impenetrables*».

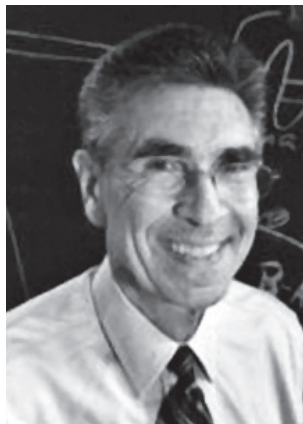
Una de las científicas de la Academia pidió una taza de café mientras explicaba la concesión del galardón, y dijo a continuación a la prensa internacional: «*sin esos receptores cruciales no podría ver, oler ni saborear este café*».

## LOS LAUREADOS

### ROBERT LEFKOWITZ

Natural de Nueva York, tiene 69 años de edad, nieto de inmigrantes polacos e hijo único, creció en un pequeño apartamento en el Bronx, en Nueva York. Lector asiduo, devoró los libros de la biblioteca de sus padres, algunos de ellos dedicados a la medicina, y desde que estaba en la escuela primaria decidió hacerse médico. Es padre de cinco hijos y tiene cinco nietos.

Asistió a la facultad de medicina de la Universidad de Columbia, en Manhattan, donde fue el primero de su promoción. Gracias a una beca de dos años en el Instituto norteamericano de Salud (NIH) pudo centrarse en la biología de los receptores, entonces un ámbito novedoso de investigación.



En un homenaje el año pasado, la American Society for Clinical Investigation se refirió a él como «uno de los más grandes de la medicina contemporánea y de la investigación biomédica». A lo largo de su carrera ha obtenido más de 60 premios, entre ellos la medalla nacional de las ciencias.

Al referirse a los receptores, Lefkowitz explica que las células en nuestro cuerpo están constantemente expuestas a una variedad de señales químicas, como las hormonas, que pueden actuar como neurotransmisores, factores de crecimiento, e incluso a veces como medicamentos. Estos deben ser adecuadamente interpretados para que se traduzcan en una respuesta efectiva, de cómo actúan los receptores «*que salpican las membranas celulares*».

Los receptores G acoplados a las proteínas son la familia más grande y más extendida de receptores celulares: unos mil existen en el cuerpo jugando papeles críticos en los sistemas de la vista, olfato y gusto. Otros participan en la regulación de la frecuencia cardíaca, la presión arterial, tolerancia al dolor, metabolismo de la glucosa, y virtualmente en todos los procesos fisiológicos conocidos.

Lefkowitz explica que los experimentos realizados en otros laboratorios solo habían sugerido la presencia de receptores celulares, pero nadie había demostrado su existencia. Sin embargo, él estaba convencido de que eran reales y se dispuso a aislarlos. En 1982, a partir de la  $\beta$  2 -adrenérgico aisló ocho de los nueve subtipos de receptores adrenérgicos, y se determinaron sus secuencias completas de aminoácidos. Los receptores adrenérgicos están entre los más comunes acoplados a las proteínas G, y son reguladores del cuerpo en las acciones de lucha o huida, respondiendo a la epinefrina, explica el científico.

Asimismo, descubrió dos nuevas familias de proteínas que desensibilizan a estos importantes receptores G acoplados a proteínas. «*Es un hallazgo que ha ayudado a los científicos a comprender, en términos moleculares, cómo los receptores se vuelven tolerantes a ciertos medicamentos*». La primera es una nueva familia de enzimas llamada proteína G acoplada al receptor quinasa (GRK), incluyendo al receptor de quinasa  $\beta$ -adrenérgico (ARK), y la segunda familia es un grupo de proteínas denominadas arrestins. «*Ambas familias de proteínas, se ha demostrado, se distribuyen ampliamente, y sus acciones no se limitan a los receptores  $\beta$ -adrenérgicos*».

Comprender las acciones de arrestins y GRKs eventualmente puede conducir a nuevos tratamientos para enfermedades humanas, en las incluye la insuficiencia cardiaca. Y Lefkowitz, dice que mientras está investigando «*continuamente se renueva y siempre se siente fresco [...] Vengo a trabajar todos los días con un sentido de gran expectación y curiosidad por lo que los nuevos descubrimientos e ideas se cruzan en nuestro camino*».

## BRIAN KOBILKA



Nació en Little Falls, 1955, una pequeña comunidad rural del centro de Minnesota, donde su abuelo y su padre ejercieron de panaderos. Estudió biología y química en la Universidad de Minnesota, en Duluth, donde conoció a la que es su esposa. Y pasó a la Universidad de Yale a estudiar medicina.

En 1984 trabajó en la Universidad de Duke, como investigador en postdoctorado bajo la dirección de Robert Lefkowitz. Juntos establecieron la primera secuencia genética de los receptores asociados a las proteínas RCPG.

Una semblanza publicada por la revista científica *Nature* habla de su extrema timidez y de su incapacidad para poner de relieve sus méritos en una entrevista de trabajo en la Universidad de California, en San Francisco a Henry Bourne, Director del Departamento, dijo: «*Era un muchacho tímido, pálido, de aspecto escandinavo [...] Pensé, ¿quién es este tipo? Es muy extraño, tan modesto, tan tranquilo. Deberíamos haber contratado a los dos*», añadió después de contratar al otro candidato.

En un grupo de diez personas, Kobilka realiza investigaciones que están dirigidas a comprender la base estructural en las propiedades funcionales de los GPLR, «*los sensores biológicos más versátiles de la naturaleza. Llevan a cabo la mayoría de las respuestas de la transmembrana (celular), a las hormonas y a los neurotransmisores. Además estos GPLR actúan como mediadores en los sentidos de la vista, el olfato y el gusto*».



Su equipo científico es autor de numerosos estudios en la Universidad de Stanford, y entre estos artículos el equipo que otorga el Premio Nobel destacó: «La señalización celular sorprendida en el acto» y «Se trata de la estructura», publicados también en 2011 en *Nature*.

Una de las sub-familias muy características de estos GPLR, y que son estudiadas por el equipo de Kobilka, son los receptores adrenérgicos, que transmiten señales de los nervios simpáticos al sistema cardiovascular. «*Estamos investigando los receptores usando un amplio espectro de enfoques*», señala Kobilaka en su informe, explicando que estos enfoques van desde el uso de la cristalografía de proteína, como también el uso de herramientas bioquímicas y biofísicas para determinar sus estructuras. Y para determinar la base estructural de las propiedades funcionales más complejas de estos receptores, el equipo usa sistemas *in vitro* y en vivo.

El grupo de Kobilka defiende un modelo multi-estado de activación de los receptores, ya que con distintos participantes en el proceso se producen diferentes interacciones. A veces el receptor da forma a interacciones en que se une a su ligando (receptor-ligando) rápidamente, mientras que en otros casos se hace de manera escalonada con interacciones fluctuantes.

## PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2012

Ha saltado la sorpresa cuando se ha anunciado el Premio Nobel de Física, porque se ha caído el gran favorito, el que copaba todas las quinielas, al que muchos veían como ganador desde que se confirmó el descubrimiento de su bosón: Peter Higgs tendrá que esperar como mínimo hasta el año que viene si quiere tener una nueva oportunidad.

En su lugar, el premio ha sido para **Serge Haroche** y **David J. Wineland**, dos pioneros de la física cuántica y de la interacción entre la luz y la materia, que «*han abierto las puertas a una nueva era de la experimentación con la física cuántica, demostrando la observación directa de partículas cuánticas individuales sin destruirlas*», dijo la Real Academia Sueca de las Ciencias, en una declaración sobre la entrega del Premio Nobel de Física, que consta del mismo diploma, medalla y cuantía económica que el de Química.

Así, mediante técnicas experimentales sofisticadas se ha podido acceder a un estado en el que tratan de captar «*unos pocos átomos, iones y moléculas*», ya que la materia «*deja de ser un cuerpo y pasa a ser probabilidades, una especie de entelequia matemática*», como veremos en seguida.

Para comprender la trascendencia de sus hallazgos es conveniente tener claro la distinción entre la física clásica y la física cuántica. El mundo que nos rodea está regido por las leyes de la física clásica formuladas por primera vez por **Isaac Newton**. A principios del siglo XX, los científicos comenzaron a observar efectos que la física clásica

no podía explicar: había un mundo por debajo del clásico compuesto, por ejemplo, por átomos, protones, neutrones y quarks que no seguía las leyes de Newton. El problema era que las partículas no pueden «desconectarse» fácilmente del medio que las rodea y pierden sus propiedades cuánticas en cuanto interaccionan con el mundo exterior.

Erwin Schrödinger planteó una de las más conocidas paradojas de la Mecánica Cuántica: *el gato de Schrödinger*, en la cual se describe el conocido experimento de un gato metido en una caja. Lo que aportan Wineland y Haroche a este embrollo, es lo que la academia sueca ha premiado. En concreto David Wineland desarrolla una técnica para manipular y medir con fotones el estado cuántico de las partículas atrapadas mediante un campo eléctrico. Básicamente lo que hace es «enfriar» con pulsos láser aquellas hasta que alcanzan su nivel mínimo de energía, y entonces sintoniza finamente el haz láser (fotones) para excitarlas hasta un *estado superpuesto* en el que coexisten con igual probabilidad el estado fundamental («gato vivo») y el excitado («gato muerto»), lo cual permite estudiar la *superposición cuántica*.

El método de Serge Haroche es de alguna manera especular del anterior: medir mediante iones el estado cuántico de fotones atrapados en una cavidad. Esto es controlar los fotones (microondas en este caso) capturados en una cavidad de espejos superconductores en cuyas paredes rebotan durante una décima de segundo antes de ser absorbidos, tiempo durante el cual su estado cuántico es controlado y medido simultáneamente por átomos de Rydberg individuales que son introducidos en la cavidad de una manera (a una velocidad) que la interacción con el fotón es perfectamente controlada.

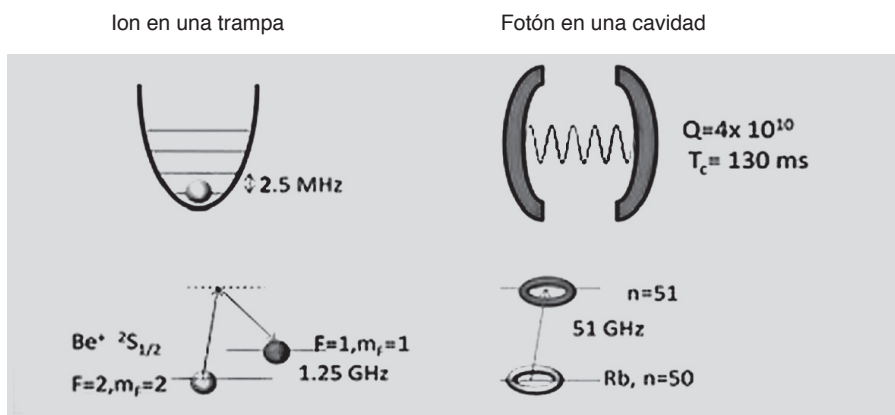


Ilustración de los dos experimentos desarrollados por Wineland y Haroche. A la izquierda un ion es capturado en una trampa armónica, su estado cuántico está controlado por pulsos de láser, ejemplificado aquí para el berilio. A la derecha un fotón es atrapado en una cavidad de alta frecuencia de microonda. El estado del campo se mide y controla por una interacción con átomos de rubidio altamente excitados.

El primero atrapa un átomo cargado eléctricamente (un ion) en el espacio y quita todo lo que le rodea. Con luz de un láser lo empuja y, siguiendo las pautas estableci-

das por las leyes de la física cuántica, lo pone en dos sitios a la vez. También puede hacer lo mismo con los electrones que orbitan alrededor del átomo, e incluso con varios átomos.

El segundo atrapa fotones entre dos espejos y envía átomos para que los absorban o emitan, poniéndolos en una superposición cuántica. Luego observa cómo la superposición desaparece con el tiempo y que cuantos más fotones participan, más rápido se extingue.

Estos trabajos en óptica cuántica que analizan interacción entre luz y materia, constituyen las bases fundamentales de la informática futura, a la vez que inician las investigaciones fotónicas, que aprovecha las propiedades de las partículas de la luz (los fotones) para crear nuevas tecnologías y profundizar en la comprensión de las leyes físicas. Entre los avances que se han derivado de esta línea de investigación, la academia suca destaca los ordenadores cuánticos ultrarrápidos y los relojes cuánticos ultraprecisos.

Para Jim Al-Khalili, profesor de Física de la Universidad inglesa de Surrey, este Premio Nobel reconoce algunas de las pruebas experimentales más increíbles de los aspectos más extraños de la mecánica cuántica. Pues, hasta hace una o dos décadas, algunos de estos resultados no eran más que ideas de ciencia ficción o, en el mejor de los casos, las más alocadas imaginaciones de físicos cuánticos. Wineland y Haroche y sus equipos han demostrado simplemente cuán extraño es realmente el mundo cuántico y abren la posibilidad a nuevas tecnologías impensables hace no mucho tiempo.

David Wineland ha utilizado también la trampa de iones para construir un reloj óptico 100 veces más preciso que los relojes atómicos de cesio. Si el reloj hubiera comenzado a medir el tiempo al principio del universo en el «big bang», hace 13.800 millones de años, el reloj óptico solo se habría adelantado o retrasado hoy no más de 4 segundos; y, por ejemplo, mejoraría los sistemas de GPS, .

Se ha soñado largo tiempo fabricar la computación cuántica, es decir, que operen usando matemática, lo cual permitiría realizar cálculos más complejos que los actuales ordenadores, así como contener una más vasta cantidad de datos. Sin embargo, estas máquinas solo pueden desarrollarse si se puede observar el comportamiento de las partículas individuales y trabajar con ellas de manera individual. Esta posibilidad es la que ha tenido en cuenta el comité del Premio Nobel de la Academia, y ha manifestado que *«Las partículas simples no son fácilmente aislables del ambiente que las rodea, y pierden sus misteriosas propiedades cuánticas en cuanto interactúan con el mundo exterior»*. Para añadir: *«A través de sus ingeniosos métodos de laboratorio, Haroche y Wineland, junto con sus grupos de investigación, han logrado medir y controlar estados cuánticos muy frágiles, que anteriormente se consideraban inaccesibles para la observación directa. Los nuevos métodos les permiten examinar, controlar y contabilizar las partículas»*. Está más cerca, pues, la construcción de ordenadores cuánticos, diferentes a los basados en la física tradicional, y parece que llegará durante este siglo XXI.

Los ordenadores actuales realizan operaciones siguiendo una lógica secuencial,

mientras que los dispositivos cuánticos pueden realizar operaciones en paralelo. En los ordenadores clásicos el bit de información toma el valor de 1 ó 0, mientras que en un ordenador cuántico, el bit cuántico de información puede ser 1 y 0 al mismo tiempo. Los estados cuánticos descritos por Haroche y Wineland amplían estas posibilidades comprendidas entre 0 y 1, lo que permite además de realizar muchas operaciones cuánticas, enviar información más segura y encriptada.

Una de las propiedades extrañas de la mecánica cuántica es que las diminutas partículas actúan como si estuvieran simultáneamente en dos lugares, en base a la probabilidad de poder ser halladas en alguno de ellos, una acción conocida como «superposición». El principio de la superposición es uno de los que originan las situaciones más chocantes en la física cuántica. Dice que, si un objeto puede estar en dos situaciones distintas, también puede estar en una superposición de ellas: vaya, que puede hacer dos cosas distintas a la vez.

Las ondas electromagnéticas (la luz) o cualquier otro tipo de ondas (como las olas del mar) cumplen este principio. La luz del Sol que entra en una habitación con dos ventanas, pasa por las dos ventanas a la vez. Lo que es extraño, y levantó acaloradas discusiones entre los físicos del siglo XX, es que a la materia le pueda ocurrir lo mismo. Un átomo puede, en principio, pasar por dos sitios a la vez. O uno de sus electrones puede circular alrededor de un núcleo en dos órbitas simultáneamente. Suena raro, pero si se toman en serio los principios de la física cuántica, debe ser verdad. Cabe preguntarse: si un átomo puede estar en una superposición, ¿por qué no también una molécula, una piedra, o incluso un animal? Schrödinger se preguntaba por qué no es posible tener un gato vivo y muerto a la vez. Hoy sabemos que esto no es posible. Las superposiciones cuánticas desaparecen si los objetos no están completamente aislados. Es muy difícil aislar un átomo, más aún una molécula, y no digamos un minino. Aislar quiere decir que no interaccione con nada: otro átomo, molécula o fotón.

Durante mucho tiempo se creyó que sería imposible demostrar eso en el laboratorio. Pero el trabajo de Wineland lo puede hacer factible al conseguir llegar a un átomo con luz láser, que según la teoría cuántica tendría un 50 por ciento de probabilidades de moverse, y observar el átomo en dos locaciones distintas, a 80.000 millonésimas partes de un metro de distancia. En un ordenador normal, un interruptor debe estar encendido o apagado. En uno cuántico funcionaría con interruptores que, como las partículas del experimento de Wineland, se comportan como si estuvieran en más de una posición a la vez. Estas máquinas solo pueden desarrollarse a partir de los trabajos descritos, pues permite observar el comportamiento de las partículas individuales, y aquí radica la dificultad de los experimentos de Wineland y Haroche.

El deseado ordenador cuántico está dejando de ser una ilusión para convertirse en una realidad en un futuro no muy lejano. Esto hará dar un salto de gigante en el mundo de las comunicaciones. Esperaremos pues... Sin embargo, construir un ordenador cuántico supone un gran reto práctico. Por un lado, hay que preservar sus propiedades cuánticas y debe poder comunicarse con el mundo exterior para transferir los resul-

tados de sus cálculos. «Quizás el ordenador cuántico se construya en este siglo. Si es así, cambiará nuestras vidas del mismo modo que los ordenadores clásicos transformaron nuestras vidas en el siglo pasado», declara la Academia sueca, incluso abrirá la puerta a la teletransportación en estado cuántico de átomos o fotones, pero no de personas.

Lo que más fascina de todo esto, es que las técnicas impulsadas por Haroche y Wineland permiten llevar a la práctica algunos «experimentos mentales» que alguna vez protagonizaron las discusiones de los principales científicos durante la primera mitad del siglo XX, especialmente Niels Bohr y Albert Einstein.

Este último siempre rechazó los fundamentos de la Teoría Cuántica —incluso con sorna—. Pero los «experimentos mentales» devenidos reales hoy día en parte gracias a los laureados Nobel del 2012, parecen confirmar que el gran genio de la Física del siglo XX no fue precisamente el ganador de las memorables discusiones filosóficas con Bohr.

Lo más curioso de todo, es que Einstein recibió su premio Nobel en 1921 fundamentalmente por una importante contribución a la física cuántica. Y, como este mundo es tan pequeño, resulta que quien lo propuso para el galardón fue otro gran físico y luchador antifascista del ESPCI: Paul Langevin.

## LOS LAUREADOS

### DAVID WINELAND

Wineland nació en la ciudad de Milwaukee (Wisconsin), en 1944, y desarrolla su actividad profesional en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de Boulder (Colorado).

Se graduó en la Universidad de Berkeley (California) en 1965 y se doctoró cinco años más tarde en la Universidad de Harvard. En 1975 entró en la Oficina Nacional de Estándares, que luego pasaría a denominarse NIST, donde comenzó a trabajar dentro del grupo de almacenamiento iónico. Es miembro de la Sociedad Americana de Física, de la Sociedad Americana de Óptica, y pertenece desde 1992 a la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos. Ha recibido, entre otros premios, la medalla Einstein a las ciencias del Láser (1996), la medalla nacional de las ciencias en Física (2007), el premio Herbert Walther (2008) y la medalla Benjamin Franklin en Física (2010), junto a Peter Zoller y el español Juan Ignacio Cirac.



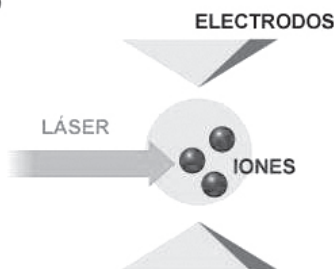
Wineland ha descrito su propio trabajo como un *pase de magia* que ha permitido lograr la gran hazaña de colocar un objeto en dos lugares a la vez. Otros científicos elogiaron los logros por hacer realidad los sueños más alocados de la ciencia ficción.

Las «partículas curiosas» son en este caso los fotones emitidos por un láser, cuyos cambios tras interactuar con los iones, se pueden apreciar incluso a simple vista. El láser también permite controlar varias de las características de los iones, lo cual se cree permitirá crear computadoras cuánticas, que harán lucir a nuestras actuales computadoras como vulgares ábacos.

#### ► EL EXPERIMENTO DE WINELAND

**1.** Campos eléctricos generados por **electrodos** aíslan un grupo de **iones** (átomos cargados eléctricamente).

**2.** Mediante descargas de un **láser** es posible el estudio cuántico de los iones.



FUENTE: Nobelprize.org

## SERGE HAROCHE



Haroche nació en 1944 en Casablanca (Marruecos) y en la actualidad es catedrático de Física Cuántica en el Colegio de Francia y en la Escuela Normal Superior, ambos en París.

Su principal área de investigación está en dos ámbitos: la óptica cuántica, es decir las interacciones entre los fotones, la partícula que transporta la luz, y el resto de la materia. Y como corolario de esta, las ciencias de información cuántica.

Haroche se graduó en la Escuela Normal Superior (ENS), se doctoró en 1971 y cuatro años más tarde comenzó a ejercer como profesor en la Universidad París VI, un puesto que mantuvo hasta 2001, cuando fue nombrado catedrático de Física Cuántica en el Colegio de Francia. Casado y con dos hijos, ha desempeñado también su labor docente, entre otras, en las prestigiosas universidades estadounidenses de Harvard y Yale, y es miembro de la Academia Francesa de las Ciencias y miembro extranjero de la Academia Nacional de las Ciencias de Estados Unidos.

Haroche ha recibido multitud de galardones como el Gran Premio Jean Ricard de la Sociedad Francesa de Física (1983), el Premio Einstein a las Ciencias del Láser (1988), la medalla de oro del Centro Nacional de la Investigación Científica (2009) y el Herbert Walter de la Sociedad Física Alemana.

En 2009 recibió una beca de investigación avanzada por cinco años del Consejo Europeo de Investigación (ERC).

El hecho científico que le dio a conocer en el mundo de las celebridades en física cuántica fue la demostración en 1996 de la decoherencia cuántica, esto es, la base para explicar todos los fenómenos que suceden a nivel microscópico en la mecánica cuántica.

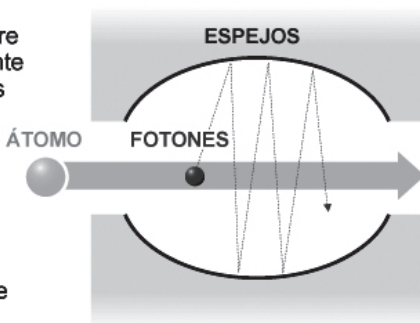
Lo que lo llevó al Nobel fue que Haroche y su equipo observaron por primera vez todo el proceso vital de un fotón. Para ello mantuvieron con vida a esta partícula durante 0,13 segundos, una eternidad para ella. Para realizar esta proeza, introdujeron los fotones en una caja de espejos superconductores refrigerados a 0.5 K ( $-272,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y las partículas rebotaban en los espejos y de esta forma pudieron ser estudiados.

Haroche y su grupo han logrado atrapar y manipular fotones en «trampas ópticas», consistentes en dos espejos superconductores enfriados a temperaturas cercanas al cero absoluto.

La cantidad de fotones en la cavidad se puede contar, sin perturbar demasiado su estado cuántico asociado, enviando como «partículas curiosas» átomos de rubidio cuidadosamente «preparados».

#### ► EL EXPERIMENTO DE HAROCHE

- 1.** Un grupo de **fotones** rebotan en el espacio entre dos **espejos** especialmente preparados para aislar las partículas.
- 2.** Están así durante una décima de segundo, y recorren una distancia de unos 40.000 km.
- 3.** En ese instante es posible aislar y estudiar su naturaleza cuántica con ayuda de **átomos** que atraviesan el habitáculo.



Fuente: Nobelprize.org