

Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto
Coordinadores

Premios Nobel

2012

Comentarios a sus actividades y descubrimientos

FISIOLOGÍA Y MEDICINA



John B. Gurdon

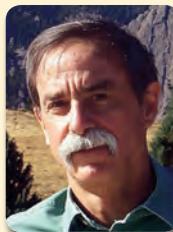


Shinya Yamanaka

FÍSICA



Serge Haroche



David J. Wineland

QUÍMICA



Robert J. Lefkowitz



Brian Kobilka

LITERATURA



Mo Yan

ECONOMÍA



Alvin E. Roth

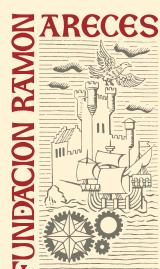


Lloyd S. Shapley

PAZ



Unión Europea



Premios Nobel
2012

REAL ACADEMIA DE DOCTORES DE ESPAÑA
FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

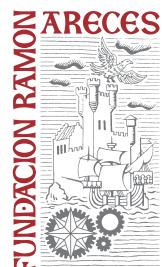
Federico Mayor Zaragoza

María Cascales Angosto

Coordinadores

Premios Nobel 2012

Comentarios a sus actividades y descubrimientos



Reservados todos los derechos.

Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

© EDITORIAL CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES, S.A.

Tomás Bretón, 21 – 28045 Madrid

Teléfono: 915 398 659

Fax: 914 681 952

Correo: cerala@cerasa.es

Web: www.cerala.es

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES, S.A.

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

www.fundacionareces.es

Depósito legal: M-18883-2013

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35-37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

ÍNDICE

	<i>Págs.</i>
Agradecimientos	7
Relación de autores	9
Prólogo, <i>Luis Mardones Sevilla</i>	13
Introducción, <i>Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto</i>	17
Premio Nobel de Fisiología y Medicina 2012, <i>Juan José Aragón Reyes y María Cascales Angosto</i>	19
Premio Nobel de Física 2012, <i>Juan José Scala Estalella</i>	43
Premio Nobel de Química 2012. <i>Federico Mayor Menéndez</i>	71
Premio Nobel de Literatura 2012, <i>Rosa Basante Pol</i>	91
Premio Nobel de la Paz 2012, <i>Ángel Sánchez de la Torre y Luis Mardones Sevilla</i>	115
Premio Nobel de Economía 2012, <i>Rafael Morales-Arce Macías</i>	163

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al presidente de la Real Academia de Doctores de España, doctor Luis Mardones Sevilla, que tan amablemente ha colaborado en esta obra con el prólogo y como un académico más, realizando personalmente los comentarios al Premio Nobel de la Paz; a la secretaria general, doctora Rosa María Garcerán Piqueras; al bibliotecario doctor Eugenio Ull Pont; y a la Sección de Publicaciones. Todos ellos nos han prestado una incondicional ayuda y proporcionado toda suerte de facilidades.

También, especial gratitud a la prestigiosa Fundación Ramón Areces, por haber financiado los gastos de publicación; a los profesores Julio Rodríguez Villanueva y José María Medina Jiménez, del Consejo Científico, por considerar esta Monografía de interés científico y cultural.

Sin el apoyo de todos, este volumen no sería hoy una realidad.

Los coordinadores
Junio 2013

RELACIÓN DE AUTORES

Juan José Aragón Reyes

Doctor en Medicina
Catedrático de la Universidad Autónoma
de Madrid
Académico de Número de la Real Academia
de Doctores de España (64)
Sección de Medicina
juanjose.aragon@uam.es



Rosa Basante Pol

Doctora en Farmacia
Catedrática de Universidad (UCM)
Académica de Número de la Real Academia
de Doctores de España (76)
Presidenta de la Sección de Farmacia
rbasante@farm.ucm.es



María Cascales Angosto

Doctora en Farmacia
Doctora *ad honorem* del CSIC
Académica de Número de la Real Academia
de Doctores de España (66)
Sección de Farmacia
mcascales@insde.es





Luis Mardones Sevilla

Doctor en Veterinaria

Presidente de la Real Academia de Doctores de España

Académico de Número de la Real Academia

de Doctores de España (20)

Sección de Veterinaria

luismardonessevilla@gmail.com



Federico Mayor Menéndez

Doctor en Ciencias Biológicas

Catedrático de Universidad (UAM)

Académico de Número de la Real Academia

de Doctores de España (45)

Sección de Ciencias Experimentales

Centro de Biología Molecular (CSIC – UAM)

Cantoblanco. Madrid

fmayor@cbm.uam.es



Federico Mayor Zaragoza

Doctor en Farmacia

Catedrático de Universidad (UAM)

Académico de las RRAA de Farmacia,

Medicina y Bellas Artes

Presidente de la UNESCO (1987-1999)

Presidente del Consejo Científico

de la Fundación Ramón Areces

Presidente de la Fundación para una Cultura de la PAZ

Presidente de la Comisión Internacional

contra la Pena de Muerte

fmayor@fund-culturadepaz.org

Rafael Morales-Arce Macías

Doctor en Ciencias Económicas
Catedrático de Universidad (UNED)
Académico de Número de la Real Academia
de Doctores de España (57)
Sección de Ciencias Sociales y de la Economía
rafaelmoralesarce@hotmail.com



Ángel Sánchez De La Torre

Doctor en Derecho
Catedrático de Universidad (UCM)
Académico de Número de la Real Academia
de Doctores de España (23)
Sección de Derecho
Académico de Número de la Real Academia
de Jurisprudencia y Legislación



Juan José Scala Estalella

Doctor Ingeniero Industrial
Catedrático Emérito de la ETS
de Ingenieros Industriales
Académico de Número de la Real Academia
de Doctores de España (48)
Sección de Ingeniería
conchitahv@telefonica.net



PRÓLOGO

Luis Mardones Sevilla

Presidente de la Real Academia de Doctores de España

Ante la buena acogida que tuvo la edición de Premios Nobel 2011, por parte de los miembros de nuestra Academia, de otras Academias, y del gran público en general, nos encontramos obligados a hacer una nueva edición de los Premios Nobel de 2012, que fueron concedidos en la segunda semana de octubre de 2012 y se entregaron por el Rey Gustavo de Suecia el 10 de diciembre de 2012, aniversario de la muerte de Alfred Nobel.

Este año yo mismo me he ofrecido a participar activamente en esta obra interviñiendo en el comentario al Premio Nobel de la Paz, otorgado a la Comunidad Europea, misión que hago con inmensa satisfacción, porque esto me hace colaborar, como un académico más, en las actividades de la Real Academia que tengo el honor de presidir. Por eso en esta edición yo me encuentro, si cabe, aún más implicado en esta tarea académica que nos pone en contacto con lo más selecto de la Ciencia y Cultura del Planeta Tierra en el que nos ha tocado vivir.

A reglón seguido paso a enumerar los seis premios concedidos, el nombre de los premiados, el porqué del Premio y el doctor Académico experto en el tema, que se ha encargado de hacer la reseña y el comentario de cada uno de ellos:

PREMIO NOBEL DE FISIOLOGÍA Y MEDICINA, John B. Gurdon (Reino Unido) y Shinya Yamanaka (Japón). *Reprogramación celular.*

Académicos encargados: Juan José Aragón Reyes (Sección de Medicina) y María Cascales Angosto (Sección de Farmacia).

PREMIO NOBEL DE FÍSICA, Serge Haroche (Francia) y David J. Wineland (Estados Unidos) por sus métodos que han permitido la medición y la manipulación de sistemas cuánticos individuales.

Académico encargado: Juan José Scala Estalella (Sección de Ingeniería).

PREMIO NOBEL DE QUÍMICA, Robert J. Lefkowitz (Estados Unidos) y Brian Kobilka (Estados Unidos), por los avances en dianas terapéuticas.

Académico encargado: Federico Mayor Menéndez (Sección de Ciencias Experimentales).

PREMIO NOBEL DE LITERATURA, Mo Yan (China), por mostrar con cuentos populares de un realismo alucinatorio la historia actual y contemporánea de China.

Académica encargada: Rosa Basante Pol (Sección de Farmacia).

PREMIO NOBEL DE LA PAZ, la Comunidad Europea, por su contribución durante seis décadas al avance de la paz y la reconciliación, la democracia, y los derechos humanos en Europa.

Académicos encargados, Ángel Sánchez de la Torre (Sección de Derecho) y Luis Mardones Sevilla (Sección de Veterinaria).

PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA, Alvin E. Roth (Estados Unidos) y Lloyd S. Shapley (Estados Unidos), por su trabajo sobre asignaciones estables y su teoría de diseños de mercado.

Académico encargado: Rafael Morales-Arce (Sección de Ciencias Políticas y de la Economía).

Cada año, los premios se conceden en una ceremonia celebrada anualmente en la Sala de Conciertos de Estocolmo (Suecia) el 10 de diciembre (fecha en que murió Alfred Nobel). La entrega del Premio Nobel de la Paz se realiza en Oslo (Noruega).

En la edición del año pasado, decíamos que ningún proyecto podría encontrar mejor ambiente en el carácter multidisciplinar de nuestra Academia, que comentar y describir la actividad de aquellos destacados profesionales de la ciencia y de la cultura, que por haber realizado una labor sobresaliente a nivel internacional, han merecido ser galardonados con el Premio Nobel. Este volumen tal vez sirva también para hacer llegar a la gente una visión general de la ciencia y la cultura en su más alto grado, en la realidad actual del mundo en que vivimos.



Alfred Bernhard Nobel (Estocolmo, 21 de octubre de 1833 - San Remo, 10 de diciembre de 1896).

Los Premios Nobel se otorgan cada año a personas, entidades u organismos por sus aportaciones extraordinarias realizadas en los campos de la Medicina, Física, Química, Literatura, Paz y Economía, que supongan beneficio a la humanidad o una contribución notable a la sociedad. Fueron concedidos por primera vez en 1901 y están financiados por los intereses devengados de un fondo en fideicomiso contemplado en el testamento del químico, inventor y filántropo sueco Alfred Bernhard Nobel.

Aunque los Premios de Paz y Literatura han sido discutidos por algunos, no hay duda de la seriedad de los Jurados, del prestigio del Instituto Karolinska y la Fundación, que, a su vez, se encuentran avalados por la permanencia en el tiempo de estas instituciones. Ante la gran cantidad de candidatos, siempre cabe la posibilidad de distintas opiniones y gustos, que no restan el esplendor y la elevada categoría de los premiados.

Los Premios que figuran como un baluarte con más de 100 años de vida, sirven para fomentar y premiar el esfuerzo humano al más alto nivel.

Y para terminar quiero desde aquí mostrar mi agradecimiento a los autores académicos y especialistas de cada tema, por su generosidad y entrega en la realización de cada capítulo. De manera muy especial este agradecimiento va dedicado a los coordinadores-editores, Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto, que con su iniciativa, entusiasmo y buen hacer, han llevado a cabo todas las etapas para la consecución de esta obra. Nuestro agradecimiento especial a la prestigiosa Fundación Ramón Areces por haber tenido la generosidad de financiar los gastos de edición de esta obra.

Prólogo

La Real Academia de Doctores de España y todos sus miembros nos sentimos orgullosos del resultado de este trabajo, que es una prueba más de la actividad de nuestra Academia y del trabajo bien hecho de sus académicos.

Una vez más, me es muy grato poner a disposición de la comunidad académica y universitaria una obra que creemos de gran utilidad e interés.

Madrid, junio 2013

INTRODUCCIÓN

Federico Mayor Zaragoza
María Cascales Angosto

Reapropiación de tiempo. Pausas imprescindibles para, en medio de una vorágine de noticias propia de la crisis sistémica que padecemos, que nos afectan y que en buena medida no entendemos, pensar serenamente en los temas que más nos conciernen o interesan y actuar después en virtud de nuestras reflexiones, sin dejarnos llevar por mensajes con frecuencia inciertos o sesgados. “Ser uno mismo”, vivir libre y responsablemente, es la mejor y más escueta definición de educación.

Hacer una pausa en medio del caudal de informaciones que nos procuran las modernas tecnologías de la comunicación, para hacer posible que una considerable proporción de las mismas se incorpore como conocimiento.

Es esencial vivir plenamente y para ello debemos poner en práctica las facultades distintivas de la especie humana: ¡pensar, imaginar, anticiparse, crear! Es preciso meditar, recordar, escuchar, leer, inventar... porque, de otro modo, por inercia, transitamos por los caminos trillados, viandantes sin brújula, desorientados.

Es indispensable tener puntos de referencia, dejarnos cautivar por rumbos y logros de quienes, en grado sumo, han buscado, hallado, descubierto, innovado... aportando al conjunto de la humanidad los beneficios de nuevos conocimientos y de sus aplicaciones.

Al leer las semblanzas de los galardonados con el premio Nobel en 2012 surgen destellos que confortan en medio de tanta oscuridad. Decía el profesor Krebs que “investigar es ver lo que otros también pueden ver... y pensar lo que nadie ha pensado”.

Leamos y procuremos la lectura de este libro que, al presentar trayectorias científicas, académicas y humanas tan distintas pero tan igualmente meritorias, nos ayudan en nuestro propio recorrido.

Un año más, la Real Academia de Doctores de España, con el beneplácito y la contribución personal de su Presidente, y la Fundación Ramón Areces, que procura, en la medida de lo posible, alentar las actividades de la Reales Academias, se han unido en este proyecto inspirador, porque miraron la realidad de otro modo... y pensaron lo que nadie había pensado.

Reapropiación del tiempo: vale la pena saber qué, por qué y cómo indagaron. Desde luego que vale la pena co-pensar con estos grandes científicos y creadores y, en el caso del Premio Nobel de la Paz, recordar los fundamentos éticos de los años 50, las razones por las que Robert Schumann, Jean Monet y Konrad Adenauer iniciaron, con el Tratado del Carbón y del Acero, el largo camino de la distensión y convivencia pacífica en Europa. Para que, entre todos, volvamos a preconizar “solidaridad intelectual y moral” en Europa. Y cooperación y no competitividad.

Es que los Premios Nobel son, en general, aleccionadores.

A todos, ¡buena lectura!

Premio Nobel de Fisiología y Medicina 2012

SISTEMA INMUNE

Juan José Aragón Reyes
y María Cascales Angosto



John B. Gurdon



Shinya Yamanaka

La Asamblea Nobel del Instituto Karolinska de Estocolmo resolvió otorgar el Premio Nobel en Fisiología y Medicina 2012 al investigador británico John B. Gurdon y al científico japonés Shinya Yamanaka por sus investigaciones pioneras en clonación de organismos y células madre. En el comunicado de la Asamblea Nobel que anuncia la concesión del premio, se destaca: “Estos descubrimientos han revolucionado nuestros conocimientos sobre el desarrollo de las células y los organismos y han creado nuevas oportunidades para investigar enfermedades y desarrollar métodos para diagnósticos y terapias”.

John Gurdon, de la Universidad de Cambridge (Reino Unido), sentó las bases de la clonación de organismos con sus experimentos realizados en ranas en 1962. Sus investigaciones fueron clave para la clonación de la oveja Dolly y de toda una pléthora de mamíferos de otras especies.

Yamanaka, de la Universidad de Kioto, realizando investigaciones con células madre, llegó a demostrar en 2006 cómo se pueden obtener las llamadas células madre

pluripotentes inducidas a partir de células adultas. Las células pluripotentes tienen propiedades de células madre y el potencial de diferenciarse en cualquier otra célula del organismo, por lo que se espera poder utilizarlas en un futuro próximo para regenerar órganos y tejidos dañados.

Gurdon y Yamanaka reciben el Nobel por descubrir que las células maduras se pueden reprogramar para convertirse en pluripotentes. “Reprogramar” es el concepto clave que une los trabajos de ambos investigadores. Gurdon reprogramó organismos enteros y Yamanaka células individuales.

Antes de estos descubrimientos, los profesionales de la biomedicina consideraban que el desarrollo de un organismo era un trayecto de sentido único. Desde la concepción hasta la muerte, las células iban sufriendo una progresiva transformación (diferenciación) para formar los diversos tejidos del organismo. Una vez transformadas o diferenciadas estas células (neuronas, hepatocitos, linfocitos, etc.), se creía que el proceso era irreversible y no podían volver atrás; es decir, no podían desdiferenciarse. Gurdon fue el primero que cuestionó este dogma al demostrar que la diferenciación de las células era reversible. Sus investigaciones fueron inicialmente recibidas con escepticismo, pero tuvieron que ser aceptadas cuando otros científicos confirmaron sus resultados. En su experimento pionero de 1962, tomó un óvulo de la rana *Xenopus laevis*, extrajo el núcleo haploide y lo sustituyó por el núcleo diploide de una célula intestinal de la misma rana. Si el desarrollo de un organismo fuera un viaje de sentido único, como se pensaba entonces, la célula intestinal somática diferenciada no hubiera podido volver atrás para convertir el óvulo en zigoto (totipotente). Gurdon demostró que, a partir del óvulo en que había introducido el núcleo de una célula madura, pudo desarrollarse un renacuajo normal, lo que supuso un cambio completo de paradigma. Por lo tanto, había conseguido reprogramar el DNA del núcleo de la célula somática inserto en el óvulo enucleado. Este descubrimiento abrió un nuevo campo de investigación centrado en la transferencia nuclear de células somáticas (SCNT, de *somatic cell nuclear transfer*), técnica sobre la que se basó luego la clonación del primer mamífero, la oveja Dolly, por Wilmut y colaboradores en 1997.

Yamanaka, por su parte, abordó la cuestión, aún sin resolver, de si sería posible inducir la reversión de una célula diferenciada intacta hacia un estado de célula altamente inmadura. Para ello razonó que la capacidad de las células de un embrión de convertirse en cualquier tejido del organismo tenía que estar regulada por algunos genes, y empezó a buscarlos. En aquel momento (hace unos diez años), había una gran expectación en torno a las investigaciones con células madre embrionarias para

desarrollar terapias de medicina regenerativa. Pero las investigaciones con células embrionarias se veían obstaculizadas por consideraciones éticas, y planteaban, además, el inconveniente del rechazo, pues aunque se desarrollaran tejidos a partir de células embrionarias para regenerar órganos enfermos, una vez se implantaran en los pacientes serían rechazados por su sistema inmune. Ante estos inconvenientes, Yamanaka se preguntó cuáles eran las diferencias entre una célula embrionaria y una célula somática y vislumbró que si se obtenían células madre a partir de células somáticas de los propios pacientes, estas no serían rechazadas por el sistema inmune de los mismos, y tampoco serían puestas en entredicho por las consideraciones éticas contrarias a utilizar células embrionarias.

Estudiando las diferencias entre las células madre embrionarias y las células somáticas, Yamanaka descubrió algo que revolucionó el campo de la medicina regenerativa. Solo cuatro genes, que codifican para otros tantos factores de transcripción, eran suficientes para que las células adultas diferenciadas se convirtieran en células de tipo embrionario, a las que denominó células pluripotentes inducidas, más conocidas como células iPS (*induced pluripotent stem cells*). A diferencia del descubrimiento de Gurdon, que había sido recibido con escepticismo, el de Yamanaka fue reconocido inmediatamente y con enorme entusiasmo.

■ Células madre y diferenciación celular

Las células somáticas, exceptuando las cancerosas, no pueden dividirse indefinidamente. Su potencial proliferativo limitado es crítico para mantener la integridad de su progenie. Por el contrario, las células madre embrionarias tienen la capacidad de autorrenovarse y sufrir numerosas divisiones celulares para perpetuarse en el tiempo, y a la vez pueden diferenciarse en todos los tipos celulares del embrión. La idea de obtener células madre pluripotentes a partir de células somáticas, invirtiendo el proceso de diferenciación natural que ocurre durante el desarrollo, había sido explorada hacía tiempo, y aunque la transferencia de núcleos de células somáticas, primero en ranas por Gurdon y después en mamíferos, había informado sobre la biología de este proceso, el descubrimiento más trascendental en este campo ha sido la generación de células iPS.

El estado indiferenciado o pluripotente de las células madre embrionarias se define como de autorrenovación con la capacidad de formar los tres estratos germinales (endodermo, mesodermo y ectodermo); mientras que el estado de las células dife-

rencias se define por su compromiso en un linaje particular. Las células madre embrionarias derivadas de la masa interna de los blastocistos tienen la capacidad de crecer indefinidamente manteniendo su pluripotencia. Estas propiedades han hecho concebir expectativas de que las células madre embrionarias pudieran ser útiles para estudiar los mecanismos de la enfermedad y probar en ellas los fármacos efectivos, al objeto de tratar pacientes con enfermedades tales como la diabetes juvenil o lesiones en la columna vertebral, entre otras. El uso de embriones humanos se enfrenta con razonamientos éticos que impiden la aplicación de las células madre embrionarias humanas. Por otra parte, sería difícil generar células embrionarias específicas para un paciente o enfermedad. Un camino para evitar estos problemas era inducir el estado pluripotente en células somáticas del propio paciente por medio de la reprogramación directa. Yamanaka demostró que células madre pluripotentes podían ser generadas a partir de fibroblastos embrionarios de ratón y fibroblastos *tail tip* de ratón adulto, por transfección mediada por retrovirus, de los cuatro factores de transcripción por él descubiertos, Oct3/4, Sox2, c-Myc y Klf4.

Todo ser vivo procede de células procedentes a su vez de un óvulo fertilizado o zigoto. El desarrollo embrionario comienza en el zigoto donde se combinan los genomas paterno y materno. Durante los primeros días después de la fertilización, el embrión consiste en unas pocas células inmaduras, células madre totipotentes, cada una de las cuales es capaz de originar todos los tipos de células que conforman un organismo adulto.

Los organismos multicelulares cuentan con diversas clases de tejidos, los cuales están formados por conjuntos de células especializadas que comparten la misma función. Las células de un tejido determinado son muy diferentes a las células de otros tejidos. Por ejemplo, una célula sanguínea y una neurona cardíaca difieren en forma, localización, función, interacción con otras células, etc. Sin embargo, las secuencias de DNA en los cromosomas de ambas células, son idénticas. Si en los genes se deposita la información de *cómo* debe ser y desarrollarse un individuo, y ambas células tienen exactamente los mismos genes con exactamente las mismas secuencias, ¿qué es entonces lo que las hace diferentes? La respuesta está en la *diferenciación celular* (figura 1).

Las células madre, o células troncales, son células indiferenciadas capaces de autorrenovarse y de generar uno o más tipos de células diferenciadas. Cada célula tiene una “madre” de quien procede y una línea de antepasados cada vez menos diferenciados, siendo los antepasados últimos las células del embrión temprano. La célu-

la madre es aquella célula en posesión de dos propiedades: *autorrenovación*, capacidad de sufrir numerosos ciclos de división celular sin perder su estado no diferenciado, y *potencia*, la capacidad de diferenciarse en los diversos tipos de células especializadas que van a dar lugar a la gran variedad de tejidos. Se conoce como potencialidad de una célula madre su capacidad para originar células diferentes. Una célula madre es totipotente si puede dar origen a todas las células de un organismo, pluripotente si puede originar células de todos los tejidos, y multipotente si sólo puede dar lugar a las diversas células de un mismo tejido (figura 1).

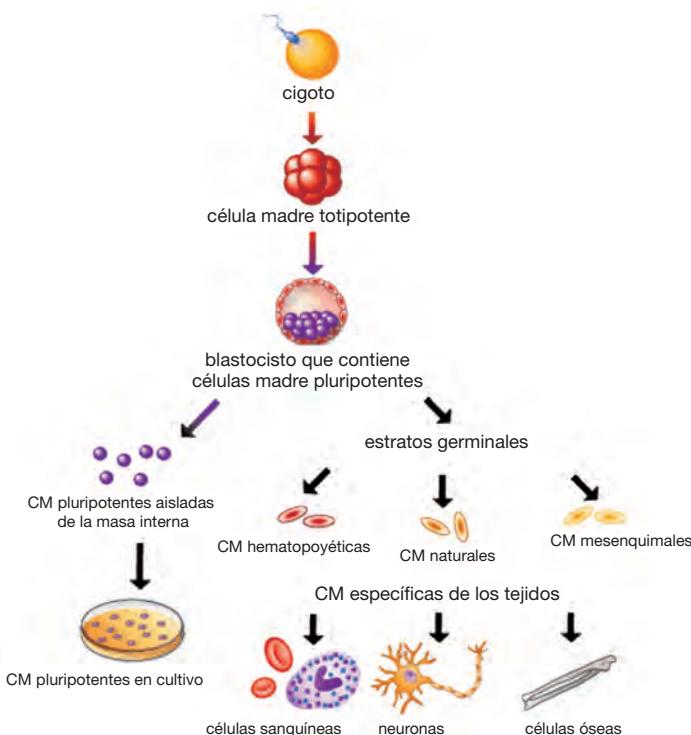


Figura 1. Diferenciación celular. El esquema muestra cómo las células madre, en este caso de un embrión animal, pueden dar origen a los diferentes tejidos de este organismo.

Las células madre totipotentes son las producidas en las primeras divisiones del huevo fertilizado, que pueden diferenciarse en todos los tipos celulares embrionarios y extraembrionarios. Las pluripotentes son descendientes de las totipotentes y pueden diferenciarse en todas las células derivadas de cualquiera de los tres estratos germinales (ectodermo, mesodermo y endodermo). Las multipotentes, que derivan de las plu-

ripotentes, son las que producen células de una familia cercana, como las hematopoyéticas (eritrocitos, linfocitos, plaquetas, etc.). Las células madre embrionarias son pluripotenciales, mientras que las células madre adultas son multipotenciales.

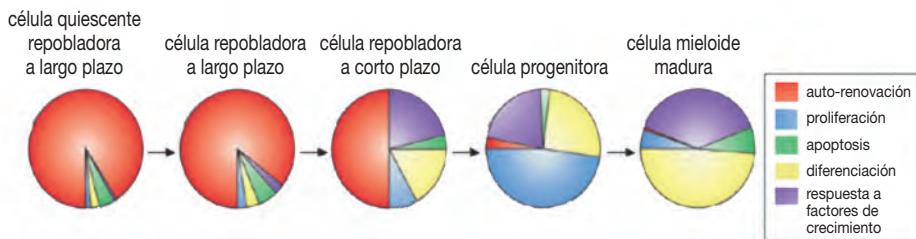


Figura 2. El estado de las células cambia de manera ordenada a medida que las células se diferencian a partir de una célula quiescente repobladora a largo plazo. La alteración del orden de este proceso puede permitir que una célula diferenciada se convierta en célula madre. (Scadden, 2004, con modificaciones).

La clave de la diferenciación celular no está en qué genes se encuentran en sus cromosomas, sino en cuáles de ellos se expresan. La regulación del patrón de la expresión génica, es decir, la decisión de cuáles se expresan y cuáles no, está gobernada por factores exógenos y endógenos. A estos factores en conjunto se les conoce como factores epigenéticos. Los factores epigenéticos pueden ser proteínas y RNA presentes en la célula, que regulan la síntesis de otras proteínas (factores endógenos), o señales externas a la célula tales como hormonas enviadas desde otra parte del cuerpo o incluso entes tan ajenos como la radiación solar o la interacción de un organismo con otro (factores exógenos).

Como se ha comentado con anterioridad, en el pasado se asumía que una célula, una vez diferenciada, no podía volver hacia un estado más temprano de su desarrollo, es decir, no había marcha atrás ya que el proceso de diferenciación era irreversible, diferenciación terminal. Se consideraba que la célula madre, estimulada por un factor externo, disparaba una serie de mecanismos epigenéticos internos de la célula, que ayudaban a mantener la diferenciación en dicha célula y que, a su vez, permitía que se transmitiera de generación en generación a las células hijas, incluso cuando la señal externa había cesado. Una vez diferenciada tenía que mantenerse en este estado por el resto de su existencia.

Los descubrimientos de Gurdon y Yamanaka han echado por tierra estos conceptos al descubrir que las células diferenciadas y maduras pueden revertir su proceso de

diferenciación, pueden desdiferenciarse y volver de nuevo a ser células madre tipo embrionario, mediante el proceso de reprogramación (figura 2).

■ Breve historia de la reprogramación

Hace apenas un siglo se sabía muy poco acerca de la naturaleza del material genético y de su influencia en el desarrollo. Se creía que los diferentes tipos celulares, a medida que se diferenciaban, perdían factores que no necesitaban y solamente retenían aquellos que les eran necesarios para realizar su función. Hans Spemann, embriólogo alemán (Premio Nobel en 1935), ya en la primera mitad del siglo XX, comenzó a discrepar acerca de la pérdida de factores genéticos y postuló entonces que la diferenciación celular debía progresar mediante un uso diferencial de dichos factores, sin necesidad de perder ninguno. Cada tipo celular sería el resultado de una programación diferente que sería el origen de las distintas funciones celulares. Spemann ya vislumbró que utilizando el núcleo de una célula adulta se podría reconstruir un embrión en el inicio del desarrollo, embrión con capacidad de originar un nuevo organismo. De demostrarse esta idea, se verificaría el potencial pluripotencial de la célula diferenciada inicial. Hans Spemann no pudo abordar el experimento, por las limitaciones técnicas de su época. Fueron Robert Briggs y Thomas King quienes, en 1952, consiguieron desarrollar la transferencia nuclear y establecieron la técnica de transferencia de núcleos de células somáticas (SCNT) o “clonación”. Con esta técnica pudieron probar el potencial de los núcleos aislados de embriones tardíos y de renacuajos, trasplantándolos en oocitos enucleados.

Por tanto, el descubrimiento de la pluripotencia inducida representa la consecuencia del desarrollo científico y tecnológico llevado a cabo a lo largo de los sesenta últimos años, y gracias a estas investigaciones se ha llegado a la demostración por SCNT, de que las células diferenciadas retienen la misma información genética que las células embrionarias. Con las técnicas actuales, que permiten cultivar y estudiar líneas celulares pluripotenciales, se ha llegado a la observación de que los factores de transcripción son los determinantes del destino celular cuya forzada expresión puede convertir un tipo celular en otro.

El trabajo de Briggs y King estableciendo la técnica de SCNT, junto con los experimentos seminales de Gurdon, demostraron que el desarrollo impone cambios reversibles durante la diferenciación celular. Consecuencia de estos estudios fue la clonación de la oveja Dolly y otros mamíferos partiendo de células adultas, como ya se ha dicho,

que demostraron que las células diferenciadas terminales permanecían genéticamente totipotentes y podían ser capaces de originar un organismo completo.

Fue en 1962 cuando John Gurdon, del Departamento de Zoología de la Universidad de Oxford, demostró, por vez primera, la pluripotencia potencial en células diferenciadas, utilizando la rana africana *Xenopus laevis*, antes mencionada. En su trabajo clave, Gurdon utilizó núcleos de células intestinales de renacuajos para reconstruir embriones y con ellos obtuvo nuevos renacuajos y hasta ranas adultas, con diversas anomalías, que resultaron ser estériles. En 1966, completó el experimento logrando obtener ranas adultas fértiles a partir de estos núcleos de células de renacuajos. Ambos artículos no tuvieron, en realidad, un gran impacto en la comunidad científica de entonces.

No fue hasta treinta años más tarde, en 1997, con el nacimiento de la oveja *Dolly*, conseguido por los científicos escoceses del Instituto Roslin, Ian Wilmut y Keith Campbell, cuando la transferencia nuclear y la pluripotencia de los núcleos de las células adultas se pusieron de manifiesto y fueron verificadas en mamíferos. Esta hazaña tuvo una gran repercusión entre científicos y el gran público, de tal manera que tanto la “clonación” como la “reprogramación celular” fueron motivo de numerosas publicaciones de todo tipo y debates científicos a todos los niveles.

Está claro que el equipo escocés de Wilmut y colaboradores fueron los primeros en demostrar el postulado de Spemann, lanzado muchos años atrás, al utilizar núcleos de células adultas, totalmente diferenciadas, de glándula mamaria. La transferencia nuclear en mamíferos y su uso potencial en medicina regenerativa, combinada con el aislamiento de las primeras células madre pluripotentes embrionarias humanas, promovió un gran interés en la reprogramación y diferenciación celular, aunque tuvo que afrontar conflictos éticos, contrarios a la utilización de embriones humanos y de sus células madre pluripotentes.

En 2006, la publicación sorprendente de Shinya Yamanaka, investigador de la Universidad de Kyoto, volvió a revolucionar las investigaciones en reprogramación celular. En ella, se demostraba de manera sistemática y sencilla que eran cuatro los genes cuya expresión había que reactivar en células adultas diferenciadas, para que adquirieran características de células madre pluripotentes. Estos cuatro genes, *Oct4*, *Sox2*, *Klf4* y *c-Myc*, conseguían transformar una célula somática diferenciada en otra muy distinta, prácticamente no distingible de las células madre pluripotentes embrionarias, con capacidad de desarrollar un nuevo embrión (en ratones) o de volver a diferenciarse en cualquier tejido celular en el laboratorio (en células humanas y de

ratón), sin requerir la intervención de ningún embrión. Con este descubrimiento se echó por tierra la mayoría de los problemas éticos que habían suscitado los anteriores experimentos en medicina regenerativa con embriones humanos.

Por este descubrimiento y por haber dilucidado los mecanismos moleculares de la reprogramación celular, Shinya Yamanaka ha sido galardonado con el Premio Nobel 2012 de Fisiología y Medicina, compartiéndolo con John B. Gurdon, como se ha comentado. Sin embargo, la Academia sueca olvidó incluir en este Premio Nobel 2012 a algún miembro del Instituto Roslin, Ian Wilmut o Keith Campbell, responsables de la obtención de la oveja Dolly. Dicho animal fue una de las noticias científicas más comentadas del siglo XX, y una aportación fundamental en toda la investigación biomédica en medicina regenerativa. La oveja Dolly cambió la percepción social de la ciencia y trasladó el debate del progreso científico en biomedicina a la sociedad. Keith Campbell (1954-2012) murió dos días antes de que se concediera el Premio Nobel de Fisiología y Medicina de 2012.

■ Transferencia de núcleos de células somáticas

John Gurdon, con su experimento de sustitución del núcleo haploide de un óvulo de rana por el diploide de una célula diferenciada, fue el primero que utilizó así el método SCNT en dos etapas: la enucleación de un oocito de rana y la subsiguiente transferencia de un núcleo de una célula somática, del mismo animal. La transferencia del núcleo somático al oocito demostró que a pesar del estado diferenciado del núcleo de la célula donadora, la célula reconstituida parecía reprogramar o desdiferenciar el núcleo capacitándolo para funcionar como un zigoto producido naturalmente. Los zigotos así obtenidos se desarrollaron como embriones viables que se incubaron y crecieron como renacuajos. Como todos los renacuajos procedían de células intestinales de la misma rana adulta, tenían el material genético idéntico y eran clones. Sin embargo, los renacuajos clones, obtenidos por Gurdon por transferencia nuclear, no se metamorfosearon como ranas. Cuando se intentó aplicar esta tecnología a otras especies como ratones, el programa de desarrollo no pudo ser reiniciado. Otros grupos continuaron investigando, y en 1986 Prather y su grupo clonaron una vaca a partir de células embrionarias utilizando transferencia nuclear. Aunque este fue un ejemplo de transferencia nuclear de blastómero, esto influyó efectivamente en el nacimiento de la oveja Dolly diez años después, en 1996.

Posteriormente, otros grupos continuaron estas investigaciones y consiguieron clonar ratones, lo cual fue difícil porque los embriones de ratón empiezan a dividirse in-

mediatamente después de que el óvulo es fertilizado, y se pensó que no habría tiempo para que se verificara la reprogramación. La oveja, sin embargo, como su zigoto no se divide hasta pasadas varias horas después de la fertilización, era una especie más fácil de clonar, ya que el retraso natural entre fertilización y división daría tiempo al oocito para reprogramar su núcleo.

Aunque SCNT es un proceso no eficiente, cuya tecnología tiene un rendimiento relativamente bajo, no se puede pasar por alto lo extraordinario que supone que los sistemas biológicos sean manipulables. En la figura 3 (A) se muestra un ejemplo de transferencia de núcleo de célula somática empleando ratones.

A diferencia del huevo fertilizado o las células embrionarias tempranas que son totipotentes o pluripotentes, sin una misión concreta, las células donantes son especialistas. Esto es, se han configurado hasta tal forma, que sus genomas han sido programados para llevar a cabo la función particular para la que habían sido destinadas. Así las células del riñón no transcriben las instrucciones productoras de leche de la glándula mamaria, aunque sigan llevando esos genes. La pregunta entonces es: ¿Cómo reprogramar el compendio total de instrucciones contenidas en el genoma, de tal manera que se realice un desarrollo normal?

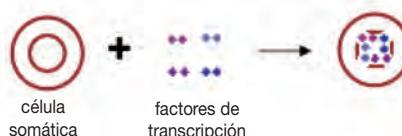
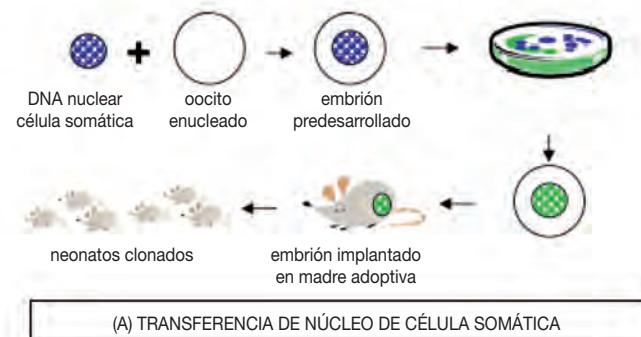
Los experimentos SCNT requieren un reemplazo de núcleos en animal completo, por lo que se lanzaba al aire otra pregunta: ¿Habrá forma de revertir la diferenciación celular en una célula intacta?

La respuesta se hizo esperar más de cuarenta años. En 2006, Shinya Yamanaka, mediante la introducción de unos cuantos genes, que solo se encuentran activos en células totipotentes, logró revertir la diferenciación en un tipo de células maduras diferenciadas de ratón (fibroblastos), para originar un tipo de células madre pluripotentes, las células iPS, en un proceso que él denominó *reprogramación celular*, y que en comparación con la reprogramación obtenida por Gurdon se puede considerar reprogramación directa. Figura 3 (B).

El descubrimiento de las células iPS ha proporcionado la primera evidencia del mecanismo interno capaz de reprogramar el estado de una célula diferenciada de un tejido, hacia un estado de célula madre embrionaria, lo que indica la existencia de una fuente intrínseca de juventud en cada célula de nuestro organismo.

¿Cuál es la importancia de todo esto? En primer lugar, este descubrimiento puede tener muchas aplicaciones médicas y biotecnológicas: por ejemplo, obtener células

madre tipo embrionarias sin tener que enfrentarse a los problemas éticos y morales de utilizar células embrionarias. Las células así obtenidas pueden ser utilizadas para experimentos científicos, para diagnóstico y terapia, cultivos celulares *in vitro* o incluso cultivos de órganos. Además, estos descubrimientos han revolucionado el conocimiento científico del desarrollo de los organismos multicelulares, rompiendo con el paradigma de que toda diferencia en una célula u organismo se basa exclusivamente en el material genético, de tal modo que sacude los cimientos de la biología del desarrollo.

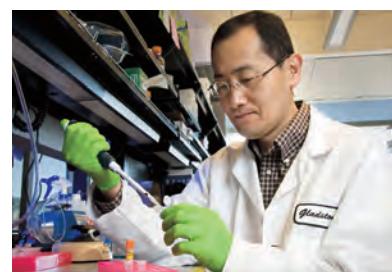


(B) REPROGRAMACIÓN DIRECTA

Figura 3. (A): Transferencia del núcleo de una célula somática: El DNA nuclear aislado de una célula somática donante se introduce en un ovocito al que se le ha eliminado el núcleo. De esta unión surge el embrión predesarrollado que se cultiva hasta que se desarrolla totalmente. El embrión desarrollado se implanta en el útero de una hembra adoptiva, resultando en neonatos clonados. (B): Reprogramación directa: Una selección de factores de transcripción se introducen en las células somáticas mediante vectores víricos o no víricos para generar células madre pluripotentes (iPS).



John B. Gurdon



Shinya Yamanaka

■ Células madre pluripotentes inducidas (iPS)

El artículo de Takahashi y Yamanaka, publicado en 2006, no tuvo la repercusión social que probablemente le correspondía, al tratarse de experimentos realizados con ratones, y hubo que esperar a 2007, cuando aparecieron resultados similares con células humanas, llevados a cabo de forma independiente por los equipos de Thomson, en EE.UU., y del propio Yamanaka, en Japón, a que la comunidad científica comprendiera la magnitud del descubrimiento al percibir que era posible convertir células somáticas en células madre pluripotentes, mediante un procedimiento de inducción genética y la expresión simultánea de un reducido grupo de genes. Desde entonces, el número de publicaciones que han aparecido en la literatura ha desbordado cualquier previsión, siendo en la actualidad uno de los campos de mayor interés en biología de células madre y en medicina regenerativa.

La expresión de tan solo cuatro factores transcripcionales fue el requisito para transformar una célula somática en una célula iPS. La diferenciación selectiva de células madre se puede conseguir empleando los medios de cultivo oportunos. Los problemas éticos de trabajar con células madre se han esfumado, si se utiliza esta tecnología.

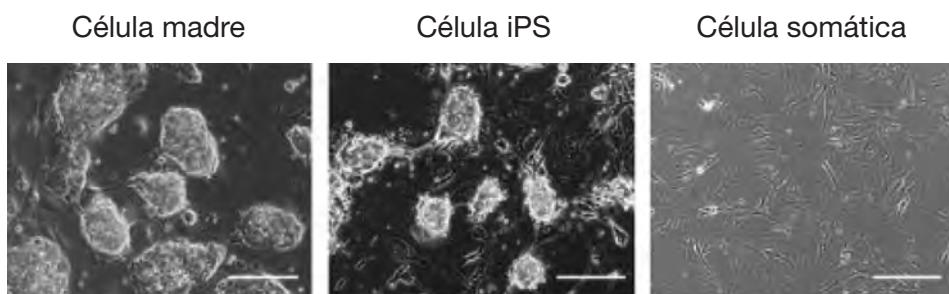


Figura 4. Inducción de células madre pluripotentes en cultivos embrionarios de ratón por factores definidos (Takahashi y Yamanaka, 2006).

Las aplicaciones en medicina de las células madre pluripotentes, capaces de diferenciarse en cualquier tipo celular del organismo adulto, son numerosas, pues se pueden utilizar para renovar tejidos dañados y con ello paliar múltiples enfermedades como el Parkinson o lesiones de la médula espinal. Yamanaka y su grupo consiguieron por primera vez la desdiferenciación de células somáticas de fibroblastos de ratón en células iPS, por la mera adición de factores externos. El paso fundamental para el descubrimiento de los factores que hacen posible la desdiferenciación celular fue suponer

que los *factores transcripcionales* que mantenían el estado de pluripotente en las células madre eran los mismos que podrían inducir la desdiferenciación de células somáticas. Los investigadores probaron combinaciones de 24 factores transcripcionales, que habían seleccionado previamente como candidatos para reinstaurar la capacidad de pluripotencia en células somáticas, y encontraron que solo cuatro de ellos, los referidos *Oct3/4*, *Klf4*, *Sox2* y *c-Myc*, eran necesarios para revertir la diferenciación celular.

Las células iPS adquieren una morfología similar a las células madre (figura 4), su tasa de duplicación se equipara a estas, y expresan los marcadores celulares típicos de células madre. Otro aspecto analizado en estas células ataÑe al *epigenoma*. Las islas CpG de los promotores de células madre necesarios para expresar pluripotencia no están metiladas, de forma que la maquinaria de expresión tiene pleno acceso a estas regiones. Sin embargo, las células somáticas tienen patrones de metilación característicos en estas zonas que silencian la transcripción. En las células iPS se ha conseguido borrar estas marcas epigenéticas, de forma que se permita la expresión génica de los factores de transcripción antes silenciados.

La transformación celular se realizó con la ayuda de vectores virales, retrovirus (lentivirus) portadores de las secuencias génicas de los 4 genes.

Gran parte de su éxito fue el ingenioso y elegante sistema de cribado que diseñaron, con unos fibroblastos embrionarios obtenidos de ratones mutantes (*knockout*) para el gen *Fbx15*, de expresión específica en células madre pluripotentes embrionarias, o células ES, en los que este *locus* dirigía la expresión de una región génica de resistencia al antibiótico G418. Al transformar los fibroblastos embrionarios obtenidos de ratones deficientes en *Fbx15* con diversas combinaciones génicas y forzar su crecimiento en presencia del antibiótico, solamente aquellas combinaciones que tuvieron éxito en la conversión de célula somática a célula madre pluripotente permitieron activar el *locus Fbx15* y expresar la resistencia al antibiótico adecuadamente. En este primer trabajo, los autores verificaron algunas de las propiedades de este nuevo tipo celular. Desde el punto de vista morfológico y en relación a marcadores específicos, estas células iPS no se distinguían de las células ES, con la salvedad de que las iPS no provenían de embriones, sino de células somáticas. Se obtuvieron los perfiles de expresión génica característicos de estas células iPS y se pudo observar que eran más parecidos, aunque no idénticos, a los de las células ES, y totalmente distintos de los de las células somáticas de donde provenían. Además, confirmaron que, una vez inyectadas subcutáneamente en ratones inmunodeficientes, eran capaces de originar teratomas con células de los tres estratos germinales, y más aún,

contribuían al desarrollo embrionario al ser inyectadas en blastocistos. Sin embargo, en este primer trabajo no se pudieron obtener quimeras ni transmisión del genotipo iPS a través de la línea germinal.

De forma independiente, aproximadamente un año más tarde, el grupo de Jaenisch logró reproducir los resultados de Takahashi y Yamanaka y consiguió culminar la transmisión por vía germinal del genotipo de estas nuevas células iPS. A partir de la transformación de fibroblastos embrionarios de ratón con los mismos 4 genes ya mencionados, usó con éxito las células iPS generadas, microinyectándolas en blastocistos de ratón, y obtuvo quimeras, que transmitieron el genotipo a la descendencia. Adicionalmente, aportó nuevas pruebas moleculares que indicaban que el estado de reprogramación y epigenético conseguido en las células iPS las hacía del todo no distinguibles de las células ES. Este trabajo coincidió con un segundo trabajo del equipo de Yamanaka en el que demostraba igualmente que las células iPS eran capaces de contribuir y transferir su genotipo a través de la línea germinal, si se seleccionaban aquellas células iPS con mayores niveles de expresión del gen Nanog, específico de células ES. De las quimeras generadas también se observó la aparición de tumores en los ratones, probablemente derivados de la activación ectópica y anómala de *c-Myc*, con lo que ya apuntaron estos autores que, en el futuro, cualquier aplicación clínica que pretendiera usar células iPS debería evitar el gen *c-Myc*, por su capacidad tumorigénica.

Nuevamente, el grupo de Jaenisch demostró que basándose únicamente en criterios morfológicos para evaluar el grado de conversión de las células somáticas a células madre, sin mediar modificación genética previa alguna que ayudara a describir y aislar las células iPS (p.e. usando el *locus* *Fbx15*, o el *locus* *Oct3/4* o el *locus* *Nanog*, todos ellos con fuerte expresión específica en células ES), era posible obtener células iPS, reprogramadas a partir de fibroblastos de ratón. El procedimiento funcionaba y era reproducible en muchos laboratorios, por lo que un año después de su primera descripción, ya se publicaba el protocolo que permitía obtener estas células iPS mediante transducción genética de un reducido número de genes, naturalmente preparado por el grupo de Yamanaka. El mismo grupo se encargó de demostrar que, partiendo de células somáticas y diferenciadas del estómago o del intestino, era posible derivar células madre pluripotentes inducidas. De hecho, a raíz de ser posible obtener múltiples líneas de iPS de los más diversos tipos celulares, y de constatarse en muchos experimentos independientes la eficacia del proceso, se concluyó que la explicación del mecanismo tenía que ver fundamentalmente con los genes transferidos, y no con los sitios de integración de los vectores virales utilizados.

Posteriormente se ha demostrado que el protocolo general puede requerir alguna pequeña modificación para ser aplicado en la reprogramación de determinados tipos celulares somáticos. En este sentido, Jaenisch demostró que para la obtención de células iPS a partir de linfocitos B maduros no solo era necesario la adición de los cuatro genes mencionados sino la inclusión de un quinto gen, c/Ebp α , y la supresión o inactivación de uno adicional, Pax5. También se ha podido demostrar en ratones que, en determinados tipos celulares (como las células madre adultas neurales), con elevados niveles de expresión endógena de los genes c-Myc y Sox2, basta con transformar solamente dos genes (Oct3/4 y Klf4) para obtener células iPS. Este experimento indica que para que la reprogramación e inducción del fenotipo pluripotente sea correcta y completa, no es necesaria la transducción de los cuatro genes, sino que puede complementarse el proceso con la expresión endógena normal de alguno de ellos en algún tipo celular. El mismo equipo, dirigido por Shöler, ha llevado el experimento al límite, demostrando que, en esencia, solamente hace falta un gen, el gen Oct3/4, para convertir a una célula madre neural adulta en célula pluripotente inducida, siendo dispensables, en este contexto y en estas condiciones, los otros tres que, de hecho, ya se expresan de forma natural en dichas células madre adultas del sistema nervioso. Esta plasticidad de las células somáticas, que pueden ser reprogramadas a pluripotentes a través de la expresión de una serie de genes que codifican para factores de transcripción, ha abierto un camino nuevo gobernado por un reducido número de genes, cuya expresión está interrelacionada, de ahí que diferentes combinaciones, en apariencia distintas, logren el mismo efecto. Tal grado de interrelación se comprueba igualmente al haberse demostrado que puede mimetizarse la reprogramación mediada por alguno de estos cuatro factores mediante fármacos inhibidores de quinasas y agentes bloqueantes de pasos clave en las cascadas de señalización, que la célula somática puede interpretar reactivando la pluripotencia y manifestando el fenotipo de célula madre pluripotente inducida.

La medicina regenerativa con células madre pluripotentes/multipotentes promete ser un medio terapéutico para el tratamiento de anormalidades del desarrollo, enfermedades degenerativas y achaques relacionados con la edad. Sin embargo, el suministro y la inocuidad de las células madre son dos problemas importantes a resolver hoy en la medicina regenerativa. El reciente descubrimiento de las células iPS va a permitir suministrar a los pacientes células madre embrionarias propias. Todavía la tumorigénesis potencial de las células iPS permanece como obstáculo. Durante la embriogénesis temprana las células ES se generan sin formación de tumores, por tanto el profundizar en el conocimiento de estas células puede ayudar a prevenir la tumorigénesis de las células iPS.

■ **Potencial terapéutico y medicina regenerativa**

Los experimentos de Takahashi y Yamanaka en 2006 se han convertido, sin ningún género de duda, en una de las contribuciones más importantes de la biología de las células madre. En 2007, estos experimentos se demostraron en células humanas por Thompson en EE.UU. y por Yamanaka en Japón, y fue entonces cuando la comunidad científica y la sociedad se dieron cuenta del alcance de estos descubrimientos, y desde entonces el número de publicaciones que han aparecido en la literatura científica ha desbordado cualquier previsión, siendo hoy uno de los campos de mayor interés en la biología de las células madre y en terapia regenerativa.

Este estudio abre un gran campo de posibilidades para generar células pluripotentes específicas de un paciente. Incluso en casos de integración retrovírica, las células iPS humanas son extraordinariamente útiles para el estudio de mecanismos de enfermedades, dosificación de fármacos y toxicología. Por ejemplo, células iPS derivadas de hepatocitos de pacientes con diversas enfermedades pueden ser estudiadas para predecir la toxicidad de fármacos candidatos. Una vez que se consiga mayor eficiencia e inocuidad en las células iPS, estas serán aplicables en medicina regenerativa.

Las células iPS no son idénticas a las células madre embrionarias humanas. Análisis mediante microchips de DNA han detectado diferencias entre las dos líneas de células madre pluripotentes. Se necesitan más estudios para determinar si las iPS humanas pueden remplazar a las células madre embrionarias naturales en aplicaciones médicas.

La medicina regenerativa utilizando células iPS supone una gran promesa para el desarrollo de terapias selectivas para el tratamiento de anormalidades del desarrollo, enfermedades degenerativas y achaques del envejecimiento. Sin embargo, el suministro y la inocuidad de las células madre son dos problemas importantes a resolver hoy en la medicina regenerativa. La obtención de células iPS va a permitir suministrar a los pacientes células madre embrionarias propias. Sin embargo, la tumorigénesis potencial de las células iPS permanece aún como un obstáculo. Durante la embriogénesis temprana, las células ES se generan sin formación de tumores, por tanto el profundizar en el conocimiento de estas células puede ayudar a prevenir la tumorigénesis de las células iPS.

El potencial terapéutico de estas células iPS es enorme en cualquier caso. Si realmente no se distinguen de las células pluripotentes embrionarias, y se comportan

como ellas dando lugar, mediante diferenciación celular, a cualquier tipo celular existente en el cuerpo, pueden ser la fuente celular inagotable que necesita la medicina regenerativa, sin mediar ni requerir el uso de embriones. Un esquema terapéutico simple podría ser el siguiente: una persona que padezca una patología congénita o degenerativa, que afecta a un determinado tipo celular, puede donar cualquiera de sus células adultas sanas para, mediante de inducción genética, obtener células iPS, a partir de las cuales derivar, mediante diferenciación, el tipo de células dañadas o en degeneración que se quisiera substituir o reparar.

El procedimiento, así explicado, parece sencillo, no requiere del uso de embriones y mantiene la identidad genética de las células, por lo que no se esperarían los problemas de rechazo que suscitaban el uso de las células madre embrionarias, para lo cual Jaenisch diseñó el procedimiento de la clonación terapéutica y fue el mismo quien, cinco años más tarde, en el campo de las células iPS, puso a punto un procedimiento que sirvió para confirmar el potencial terapéutico de estas células madre pluripotentes inducidas en ratones.

En este trabajo, partiendo de un modelo experimental en ratones con anemia falciforme, se obtuvieron células iPS que se modificaron genéticamente para corregir el defecto genético asociado al gen de las b globinas (causante de la anemia falciforme), se seleccionaron y amplificaron las células iPS así modificadas, se diferenciaron estas células a células progenitoras de la sangre y, tras eliminar las células de la médula ósea del ratón, se le introdujeron las nuevas, que reconstituyeron todo el sistema inmune, y en particular dieron lugar a los nuevos eritrocitos sin anemia falciforme, curando la patología del animal. En humanos, todavía no se ha logrado un experimento terapéutico parecido, pero los resultados preliminares que van apareciendo apuntan a que no tardará en producirse. Por ejemplo, el mismo equipo de Thomson ha demostrado que es posible obtener cardiomiositos funcionales a partir de células iPS obtenidas de células somáticas humanas, por lo que su potencial aplicación para procedimientos de medicina regenerativa y uso de implantes celulares autólogos está ciertamente a la vuelta de la esquina.

Otro de los campos activos de investigación en células pluripotentes está siendo la exploración sobre si son necesarias las modificaciones genéticas, permanentes o transitorias, que permiten la reprogramación celular. Algunos estudios apuntan a que determinados tipos celulares (como las células madre de testículo o espermatogonias), fuera de su contexto, cultivados en el laboratorio en medios de cultivo específicos,

pueden comportarse como células pluripotentes sin necesidad de modificación genética alguna.

El uso de estrategias de reactivación de los cuatro genes relevantes para la programación celular que eviten el uso de vectores virales, por su potencial peligro mutagénico, es en células humanas, fuente constante de nuevas iniciativas y descubrimientos. Además del uso de vectores adenovirales o de la transfección repetida de plásmidos, han aparecido estrategias que permiten eliminar los virus portadores de los cuatro genes, una vez integrados y una vez cumplida su función reprogramadora, mediante una sencilla recombinación y escisión mediada por una recombinasa. También se ha logrado obtener células iPS a partir de fibroblastos de pacientes afectados por la enfermedad de Parkinson y otras enfermedades a fin de obtener modelos útiles que permitan avanzar en el conocimiento de patologías diversas. Otra estrategia involucra el uso de transgenes inducibles, bien de expresión directa o controlada por doxiciclina, que expresan los factores de reprogramación y que pueden ser eliminados, tras ser escindidos, mediante transposición, utilizando las herramientas del sistema del trasposón *piggyBac*.

■ Conclusiones

La generación de las células iPS hace ya seis años ha proporcionado a los científicos una plataforma única para diseccionar los mecanismos involucrados en la reprogramación celular. Aunque es mucho lo que queda aún por resolver, lo cierto es que hoy se tienen importantes conocimientos sobre el proceso de reprogramación, tales como que las células sufren cambios moleculares definidos y secuenciales de una manera aparentemente estocástica, y que esos cambios están influenciados por la selección y número de factores de transcripción, así como por el tipo de células de partida.

El descubrimiento de las células iPS ha influenciado también nuestro conocimiento del desarrollo normal, al demostrar que la activación de unos pocos factores de transcripción puede cambiar el destino celular, de ahí que las células de mamíferos hayan desarrollado mecanismos epigenéticos para bloquear las células una vez que se han diferenciado. Estos mecanismos se rompen a menudo en las células cancerosas, las cuales muestran características de células madre y signos de desdiferenciación. Curiosamente, muchas vías señalizadoras mutadas en células cancerosas se ha demostrado que afectan la formación de las células iPS, lo que indica la existencia de notable similitud entre la tumorigenesis y la reprogramación celular.

El aislamiento de las células iPS ha promovido un nuevo interés en la interconversión directa de tipos celulares maduros entre sí, la transdiferenciación, de lo cual ya se conoce la existencia de destacados ejemplos para tipos celulares pancreáticos, musculares y neurales. Es probable que muchos otros cambios celulares se consigan en un próximo futuro.

A pesar de lo mucho que se ha avanzado en la tecnología de la obtención de las células iPS humanas, se sabe aún poco sobre su equivalencia molecular y funcional con las células madre embrionarias, lo cual puede afectar su potencial utilidad terapéutica. Se requiere no solo analizar la integridad genómica y epigenómica de las iPS humanas, sino también conseguir protocolos óptimos para evaluar la funcionalidad de las células especializadas derivadas de las iPS.

Aunque el potencial terapéutico de las células madre pluripotentes inducidas es enorme, en un futuro próximo se conocerá la realidad de ese potencial. Todavía quedan muchos interrogantes por contestar, a pesar de que en plazos muy cortos de tiempo se han solventado barreras que parecían insalvables hace muy poco (evitar el uso de *c-Myc*, evitar el uso de vectores retrovirales, evitar la modificación genética mediante la inducción de la reprogramación utilizando procedimientos químicos, restringir la fase de pluripotencia a la estrictamente necesaria, para luego pasar a diferenciar estas células al tejido *destino* que se pretenda substituir o reparar, etc.). En pocos años, el campo de las células iPS ha producido multitud de publicaciones, muchas de ellas pioneras, innovadoras, otras tantas de tipo descriptivo o confirmando observaciones realizadas anteriormente, pero incluso estas últimas son de extraordinaria relevancia, pues dan la idea acertada de lo sorprendente del descubrimiento de Takahashi y Yamanaka, y también de su alto grado de reproducibilidad. De la relevancia de todos estos estudios es de esperar que pronto puedan derivarse realidades terapéuticas que compensen las enormes esperanzas que estas investigaciones han suscitado entre pacientes afectados por enfermedades incurables o degenerativas.

■ Abreviaturas

cMyc, gen tumorigénico que codifica para el factor de transcripción Myc.

ES (células), células madre embrionarias.

iPS (células), células madre pluripotentes inducidas.

Kfl4, gen que codifica para el factor de transcripción Kfl4.

MEF, fibroblastos embrionarios de ratón.

Oct3/4, gen que codifica para el factor de transcripción Oct3/4.

Sox2, gen que codifica para el factor de transcripción Sox2.

SCNT, transferencia de núcleo de célula somática.

■ Bibliografía consultada

Aasen T., Raya A, Barrero M.J., Garreta E., Consiglio A., Gonzalez F., Vassena R., Bilic J., Pekarik V., Tiscornia G., Edel M., Boué S., Izpisúa Belmonte J.C. (2008). Efficient and rapid generation of induced pluripotent stem cells from human keratinocytes. *Nat Biotechnol.* 26, 1276-1284.

Aoi T., Yae K., Nakagawa M., Ichisaka T., Okita K., Takahashi K., Chiba T., Yamamoto S. (2008). Generation of pluripotent stem cells from adult mouse liver and stomach cells. *Science* 321, 699-702.

Briggs, R., King, T.J. (1952) Transplantation of living nuclei from blastula cells into enucleated frogs' eggs. *PNAS. USA* 38, 455-463.

Gurdon, J.B. (1962). The developmental capacity of nuclei taken from intestinal epithelium cells of feeding tadpoles. *J Embryol & Expl Morphol* 10, 622-640.

Gurdon J.B. (1962). Adult frogs derived from the nuclei of single somatic cells. *Dev Biol* 4, 256-273.

Gurdon J.B., Uehlinger V. (1966). "Fertile" intestine nuclei. *Nature* 210, 1240-1241.

Hajkova P. (2011). Epigenetic reprogramming in the germ line: towards the ground state of the epigenoma. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 366, 2266-2273.

Hanna J., Wernig M., Markoulaki S., Sun C.W., Meissner A., Cassady J.P., Beard C., Brambrink T., Wu L.C., Townes T.M., Jaenisch R. (2007). Treatment of sickle cell anemia mouse model with iPS cells generated from autologous skin. *Science* 318, 1920-1923

Hanna J., Markoulaki S., Schorderet P., Carey B.W., Beard C., Wernig M., Creyghton M.P., Steine E.J., Cassady J.P., Foreman R., Lengner C.J., Dausman J.A., Jaenisch

- R. (2008). Direct reprogramming of terminally differentiated mature B lymphocytes to pluripotency. *Cell* 133, 250-264.
- Hochedlinger, K. (2010). Your Inner Healers: A Look into the Potential of Induced Pluripotent Stem Cells. *Scientific American* 302, 46-53, a Division of Nature America.
- Huangfu D., Osafune K., Maehr R., Guo W., Eijkelenboom A., Chen S., Muhlestein W., Melton D.A. (2008). Induction of pluripotent stem cells from primary human fibroblasts with only Oct4 and Sox2. *Nat Biotechnol.* 26, 1269-1275.
- Kaji K., Norrby K., Paca A., Mileikovsky M., Mohseni P., Woltjen K. (2009). Virus-free induction of pluripotency and subsequent excision of reprogramming factors. *Nature* 458, 771-775.
- Kim J.B., Zaehres H., Wu G., Gentile L., Ko K., Sebastian V., Araúzo-Bravo M.J., Ruau D., Han D.W., Zenke M., Schöler H.R. (2008). Pluripotent stem cells induced from adult neural stem cells by reprogramming with two factors. *Nature* 454, 646-650.
- Kim J.B., Sebastian V., Wu G., Araúzo-Bravo M.J., Sasse P., Gentile L., Ko K., Ruau D., Ehrich M., van den Boom D., Meyer J., Hübner K., Bernemann C., Ortmeier C., Zenke M., Fleischmann B.K., Zaehres H., Schöler H.R. (2009). Oct4-induced pluripotency in adult neural stem cells. *Cell* 136, 411-419.
- Lacadena J.R. (2013.) Premio Nobel de Medicina 2012. *Anales de la Real Academia de Farmacia* 79, 151-171.
- Lewitzky M., Yamanaka S. (2007). Reprogramming somatic cells towards pluripotency by defined factors. *Curr Opin Biotechnol* 18, 467-473.
- Lin S.L. (2011). Concise review: Deciphering the mechanism behind induced pluripotent stem cell generation. *Stem Cells* 29, 1645-1649.
- Loh Y.H., Agarwal S., Park I.H., Urbach A., Huo H., Heffner G.C., Kim K., Miller J.D., Ng K., Daley G.Q. (2009). Generation of induced pluripotent stem cells from human blood. *Blood* 113, 5476-5479.
- Meissner A., Wernig M., Jaenisch R. (2007). Direct reprogramming of genetically unmodified fibroblasts into pluripotent stem cells. *Nat Biotechnol.* 25, 1177-1181.

Montoliú L. (2009). Células pluripotentes inducidas. En Células madre y terapia regenerativa (Ed. Flora de Pablo Dávila y María Cascales Angosto). Real Academia Nnal de Farmacia, pp. 83-100. Madrid.

Montoliú L. (2012). El Nobel premia la reprogramación. SEBBM Divulgación y Ciencia para todos.

Okita K., Ichisaka T., Yamanaka S. (2007). Generation of germline-competent induced pluripotent stem cells. *Nature* 448, 313-317.

Okita K., Yamanaka S. (2011). Induced pluripotent stem cells: opportunities and challenges. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 366, 2198-2207.

Park I.H., Zhao R., West J.A., Yabuuchi A., Huo H., Ince T.A., Lerou P.H., Lensch M.W., Daley G.Q. (2008). Reprogramming of human somatic cells to pluripotency with defined factors. *Nature* 451, 141-146.

Patel M., Yang S. (2010). Advances in reprogramming somatic cells to induced pluripotent stem cells. *Stem Cell Rev* 6, 367-380 .

Rideout W.M. 3rd, Hochedlinger K., Kyba M., Daley G.Q., Jaenisch R. (2002). Correction of a genetic defect by nuclear transplantation and combined cell and gene therapy. *Cell* 109, 17-27.

Scadden, D.T. (2004). Cancer stem cells refined. *Nat. Immunol.* 5, 701-703.

Silva J., Barrandon O., Nichols J., Kawaguchi J., Theunissen T.W., Smith A. (2008). Promotion of reprogramming to ground state pluripotency by signal inhibition. *PLoS Biol.* 6, e253.

Soldner F., Hockemeyer D., Beard C., Gao Q., Bell G.W., Cook E.G., Hargus G., Blak A., Cooper O., Mitalipova M., Isacson O., Jaenisch R. (2009). Parkinson's disease patient-derived induced pluripotent stem cells free of viral reprogramming factors. *Cell* 136, 964-977.

Spemann, H. (1938). *Embryonic Development and Induction* (Yale University Press, New Haven).

- Stadtfeld M., Hochdlinger K. (2010). Induced pluripotency: history, mechanisms and applications. *Genes Develop* 24, 2239-2263.
- Takahashi K., Yamanaka S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell* 126, 663-676.
- Takahashi K., Tanabe K., Ohnuki M., Narita M., Ichisaka T., Tomoda K., Yamanaka S. (2007). Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors, *Cell* 131, 861-872.
- Takahashi K., Okita K., Nakagawa M., Yamanaka S. (2007). Induction of pluripotent stem cells from fibroblast cultures. *Nat Protoc.* 2, 3081-3089.
- Thomson J.A., Itskovitz-Eldor J., Shapiro S.S., Waknitz M.A., Swiergiel J.J., Marshall V.S., Jones J.M. (1998). Embryonic stem cell lines derived from human blastocysts. *Science* 282, 1145-1147.
- Watanabe A., Yamada Y., Yamanaka S. (2013). Epigenetic regulation in pluripotent stem cells: a key to break the epigenetic barrier. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 368 (1609).
- Welstead G.G., Schorderet P., Boyer L.A. (2008). The reprogramming language of pluripotency. *Curr Opin Genet Dev.* 18, 123-129.
- Wilmut I., Schnieke A.E., McWhir J., Kind A.J., Campbell K.H. (1997). Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature* 385, 810-813.
- Wilmut I., Sullivan G., Chambers I. (2011). The evolving biology of cell reprogramming *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 366, 2183-2197.
- Woltjen K., Michael I.P., Mohseni P., Desai R., Mileikovsky M., Hämäläinen R., Cowling R., Wang W., Liu P., Gertsenstein M., Kaji K., Sung H.K., Nagy A. (2009). piggyBac transposition reprograms fibroblasts to induced pluripotent stem cells. *Nature* 458, 766-770.
- Yamanaka S. (2008). Pluripotency and nuclear reprogramming. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 363, 2079-2087.

Yamanaka S. (2009). Elite and stochastic models for induced pluripotent stem cell generation. *Nature* 460, 49-52.

Yamanaka S, Blau H.M. (2010). Nuclear reprogramming to a pluripotent state by three approaches. *Nature* 465, 704-712.

Yamanaka S. (2012). Induced pluripotent stem cells: past, present and future. *Cell Stem Cell* 10, 678-684.

Yu J., Vodyanik M.A., Smuga-Otto K., Antosiewicz-Bourget J., Frane J.L., Tian S., Nie J., Jonsdottir G.A., Ruotti V., Stewart R., Slukvin I.I., Thomson J.A. (2007). Induced pluripotent stem cells lines derived from human somatic cells *Science* 318, 1917 – 1920.

Zhang J., Wilson G.F., Soerens A.G., Koonce C.H., Yu J., Palecek S.P., Thomson J.A., Kamp T.J. (2009). Functional cardiomyocytes derived from human induced pluripotent stem cells *Circ Res* 104, e30-41.

www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2012/press.html#

www.cnb.csic.es/trasimp/stem/htm. Luis Montoliu Recopilación de WEB

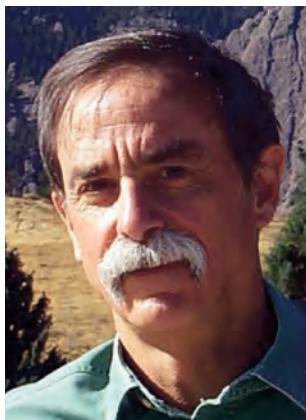
Premio Nobel de Física 2012

CONTRIBUCIÓN A LA ÓPTICA CUÁNTICA

Juan José Scala Estalella



Serge Haroche



David J. Wineland

El pasado día 9 de octubre la Real Academia Sueca de las Ciencias anunció que el Premio Nobel de Física del presente año 2012 había sido otorgado a los científicos Serge Haroche, profesor del Collège de France y de la École Normale Supérieure de París; y a David J. Wineland, investigador del National Institute of Standards and Technology y de la Universidad de Colorado en Boulder.

En el mismo comunicado, la Real Academia de Ciencias de Suecia destaca que “los premiados han abierto la vía a una nueva era de experimentación en la Física cuántica al lograr la observación directa de las partículas cuánticas individuales sin destruirlas”.

Antes de pasar adelante merece destacarse que la misma Academia declara que se trata de un logro experimental. Aprovechamos esta declaración para excluir toda prelación entre la Física teórica y la experimental. Ambas avanzan como las dos ruedas de un carro que conducen la misma carga. Si no se construyeran sabias teorías la Física sería un catálogo de hechos experimentales, aislados, inconexos, casi anecdóticos, con frecuencia incomprensibles y, a veces, sorprendentes. La Física teórica,

sin el soporte y confirmación de la experiencia, no pasaría de ser una construcción del pensamiento más o menos bello y, como mucho, adecuado consigo mismo, pero ignorante de toda relación entre sus elucubraciones y la realidad de la Naturaleza. De la conjunción de ambas nace esa magnífica construcción de la mente humana que es la Ciencia Física. El objeto de estas líneas es situar dentro de ella el trabajo de los científicos galardonados.

■ **La luz: una realidad fácil de percibir y difícil de explicar**

Todo ser viviente dotado de una vista normal percibe la luz. Se dice que los peces de las zonas abisales no la perciben, quizá porque tampoco lo necesitan. Otros seres vivos como insectos o aves tienen sensores en algunos aspectos superiores al del hombre, quizá porque lo necesitan más que éste. Pero limitémonos a la especie humana con cuyos individuos podemos entendernos a través del lenguaje. Si uno de ellos carece del sensor adecuado, o sea, el órgano de la vista desde su nacimiento, poco o nada se logrará al intentar explicarle de lo que carece con las mejores explicaciones científicas... o poéticas. A través de este sensor, nos llega información de nuestro entorno inmediato, bien directamente o con la ayuda de algún aparato (gafas, lentes, microscopios o telescopios). Los mensajes que nos vienen de más lejos se sitúan en los límites de nuestro universo y partiendo de allí hace diez mil millones de años, mucho antes de que existiera el planeta en el que viajamos. Basta decir esto para dejar bien patente que la transmisión no es instantánea, como antiguamente se creyó.

■ **Dos explicaciones que inicialmente se ofrecieron como contradictorias y resultaron ser complementarias**

Los físicos han explicado por dos hipótesis la naturaleza de la luz: como partículas y como ondas. Ambas tuvieron sus partidarios. Ciertamente parecía como si la Naturaleza quisiera jugar con los físicos, pues unos experimentos parecían elocuentes para apoyar la primera, mientras otros solo se sostenían si se aceptaba la segunda.

Sir Isaac Newton (1642-1727), británico, probó que la luz solar blanca se compone de un espectro de todos los colores simples, desde el rojo hasta el violeta. Sobre una base matemática desarrolló la teoría corpuscular. Argumentaba que la quiebra en el camino de la luz al pasar de un medio a otro de distinta densidad, lo que se conoce como refracción de la luz, solo se explicaba como partículas que se movían a distinta

velocidad en cada uno de los medios. La teoría corpuscular de la luz no dio explicación satisfactoria a la difracción de la luz al pasar junto a los bordes de un obstáculo. Sin embargo, y debido al enorme prestigio de Newton, no fue decididamente puesta en duda durante más de un siglo.

Entre tanto, un contemporáneo de Newton, el físico holandés Christian Huygens (1629-1695) desarrolló la hipótesis ondulatoria dando el nivel de teoría respetable. En base a un supuesto sencillo, llamado principio de Huygens, pudo explicar los fenómenos de reflexión, refracción y reflexión total. Investigó la doble refracción y sentó las bases para su correcta explicación. La explicación que Huygens dio de la refracción exigió que la velocidad de la luz fuera menor en un medio denso que en el aire, aportando así una prueba definitiva entre las teorías ondulatoria y corpuscular.

La ciencia óptica después de Huygens entró en un periodo de hibernación hasta el siglo XIX, cuando renació con fuerza debido al impulso de varios investigadores geniales. En 1801, el físico británico Thomas Young (1773-1829) demostró la interferencia de la luz probando que dos haces de luz podían anularse al incidir sobre una misma superficie. Este hecho resultaba inexplicable por la teoría corpuscular y constituyó un espaldarazo definitivo para la teoría ondulatoria. Young también propuso que las vibraciones de las ondas luminosas, como las de una cuerda vibrante, debían ser trasversales respecto al rayo, o línea de propagación, aclarando así el fenómeno de la polarización de la luz.

La teoría ondulatoria de la luz quedó firmemente asentada por el ingeniero francés Augustin Jean Fresnel (1788-1827) quien probó que la difracción puede explicarse como un fenómeno ondulatorio sobre la base del principio de Huygens. Fresnel halló también por experiencia directa que la velocidad de la luz es inferior en un medio denso que en el aire o en el vacío. Esto confirmó decisivamente la naturaleza ondulatoria de la luz.

El resultado era en aquel momento de uno a cero a favor de la teoría ondulatoria, pero el árbitro Naturaleza no había pitado aún el final del encuentro.

■ **Ondas, sí; pero ¿de qué?**

En Física se conocían y se estudiaban desde antiguo otras ondas menos “misteriosas” que las ondas de la luz. La materia en sus tres estados transmite ondas. Eran las ondas sonoras y también las ondas que se generan en la superficie libre de un líquido.

Por concretar, consideremos la superficie de un líquido en reposo. Si se deja caer una gota o un cuerpo pequeño sobre dicha superficie, el líquido se perturba en el punto donde se ha recibido el impacto. Por perturbación queremos significar que a consecuencia de dicho impacto, se rompe el equilibrio local y las partículas de líquido allí situadas empiezan a subir y bajar. Poco después se observa la formación de unas ondulaciones en forma de circunferencias que “avanzan” a radios crecientes, y su amplitud de oscilación disminuye con dicho avance. Hemos destacado la palabra “avance”, porque lo que avanza es solo la perturbación y no el líquido. Si a una cierta distancia se hallaba un cuerpo flotante, al ser alcanzado por las ondulaciones del líquido perturbado, se pondrá en movimiento con desplazamientos verticales, pero no de avance sobre la superficie líquida, sino de oscilación.

En todo caso, algo ha transmitido la onda desde el lugar del impacto inicial: energía y lo que en mecánica se llama cantidad de movimiento (producto de una masa por una velocidad), pero –vale la pena destacarlo– no ha habido transporte de materia. El líquido del depósito inicial ha actuado meramente como medio de soporte de la onda.

Para las ondas sonoras, el medio de transmisión estaba patente: el aire. Con muy sencillos e intuitivos experimentos se comprobaba que el sonido se transmite a través del aire. También lo hacían los cuerpos sólidos, o los líquidos en su seno, ondas vibracionales (no confundir con las ondas superficiales). Muy sencillos experimentos lo pusieron de manifiesto.

Las ondas lumínicas también necesitaban un medio. El tal medio debía ser muy peculiar. Se exigía de él que llenase todo el espacio, tanto los espacios intermoleculares como los intersiderales. En efecto, la luz atraviesa los medios transparentes o láminas delgadas de muchos de ellos, y nos trae la visión de lejanas estrellas; se le llamó el éter. Digamos de paso que este nombre no estaba relacionado con las sustancias químicas orgánicas denominadas éteres. El mar de éter tenía que permanecer en absoluto reposo o a él se tenían que referir todos los movimientos de los cuerpos. Había que suponer que el medio era perfectamente elástico, de manera que los cuerpos celestes pudieran atravesarlo sin perturbarlo y sin que les ofreciera la menor resistencia. Tenía que tener la suficiente rigidez para transmitir las ondas luminosas...

En el desarrollo de la teoría de la relatividad también era necesario detectar el “viento de éter”. De esto se ocuparon en 1887 dos físicos americanos: Albert Abraham Michelson (1852-1931) y Edward Williams Morley (1838-1923) que diseñaron un experimento para observar si el misterioso éter se hallaba en movimiento relativo respecto a

la Tierra. Se hicieron pruebas en valles y en montañas elevadas, en distintas épocas del año... Todo en vano para permitir hablar de la velocidad de la luz respecto al éter.

La hipótesis del éter era una hipótesis “ad hoc” que la experiencia rechazó, dejándola relegada a los libros de historia de la Física.

■ **Ondas electromagnéticas**

En la Costa Este de la actual Grecia continental está la región de Tesalia y en ella el departamento de Magnisia. Allí se encontraba una piedra que tenía la propiedad de atraer los minerales férricos. El ámbar (electrón en griego), al ser frotado, también atrae cuerpos ligeros (trozos de papel, partículas de polvo, cabellos, etc.). Eran distintos fenómenos que se estudiaron a lo largo de los siglos bajo los nombres que de aquellas palabras griegas pasaron a muchas lenguas: electricidad y magnetismo.

El científico escocés James Cleck Maxwell (1831-1879) estudió las relaciones entre ambos grupos de fenómenos y, a partir de ahí, quedaron unidos en la palabra electromagnetismo. En 1864, Maxwell presentó un trabajo ante la Royal Society de Londres explicando su nueva teoría. En una síntesis verdaderamente extraordinaria que quedó expresada en cuatro ecuaciones, desde entonces conocidas por las ecuaciones de Maxwell.

Esta expresión utiliza conceptos de matemática avanzada de la teoría de campos. Maxwell siguió una vía inductiva y, a partir de ella, por procesos matemáticos deductivos pueden derivarse todas las propiedades electromagnéticas de la materia.

La propagación de ondas vibracionales en medios sólidos (cuerda vibrante, placa y membrana vibrante, barra metálica, ondas aéreas, etc.) ya se había estudiado matemáticamente, y todas ellas conducían a una misma ecuación, salvo parámetros específicos de cada fenómeno (densidad, viscosidad, elasticidad, etc.). Era esta una ecuación diferencial de segundo orden y primer grado o lineal, la cual relacionaba la variable que medía la perturbación del medio portador con las variables cartesianas y el tiempo. La estructura de la ecuación era la misma para todos los medios, por lo cual pasó a denominarse “ecuación de ondas”.

A partir de las ecuaciones de Maxwell y por una deducción matemáticamente sencilla y breve se encontró que las cuatro magnitudes características del campo electro-

magnético (vectores de campo eléctrico, desplazamiento eléctrico, campo magnético o inducción magnética) obedecían a la ecuación de ondas.

Faltaba la sanción de la experiencia. Esta llegó de la mano del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894). Este descubrió las ondas hertzianas, ondas cortas de radio. Demostró la propagación de la acción electromagnética y su transmisión progresiva por el espacio, así como la naturaleza transversal de la vibración de las ondas electromagnéticas; estudió los fenómenos de reflexión, refracción y polarización de estas ondas, llegando así a confirmar la naturaleza electromagnética de la luz.

¿Por qué vemos las ondas de luz y no las ondas de radio si son de la misma naturaleza? Esto depende solamente de la capacidad de nuestro sensor: el ojo humano, que no es igual para todas las especies vivientes. Lo mismo ocurre con el oído, que no registra todas las ondas sonoras, sino aquellas cuya longitud de onda se sitúan dentro de unos márgenes. Pero esto merece otro apartado.

■ **Un universo de ondas**

En un punto del espacio vacío por el que pasa una onda electromagnética, la presencia de esta viene representada por la intensidad de un campo eléctrico y la de un campo magnético, perpendicular al primero. Los dos campos tienen un valor que oscila con el tiempo, anulándose simultáneamente y alcanzando simultáneamente sus valores máximos. Supongamos que la variación es periódica y varía según la ley trigonométrica del seno. Ambos campos determinan un plano, que es el frente de ondas. El avance de la onda viene dado por una recta perpendicular al frente de onda. Sobre esta recta se halla el vector representativo de la energía portada por la onda. Dicho vector no es alternativo, sino pulsante, es decir, su dirección es la del rayo y su sentido el de avance de la onda.

Todo lo dicho es válido para todas las ondas electromagnéticas. Unas de otras se caracterizan por una variable o, mejor dicho, por dos variables que están ligadas entre sí: la longitud de onda y la frecuencia. La primera es la distancia que separa dos máximos de la onda o dos puntos en la que es nula, en un momento determinado. Se mide en metros. La segunda es el número de ondas que pasan en la unidad de tiempo. Se miden en hertz (ondas por segundo). Están relacionadas sencillamente: la longitud de onda es igual a la velocidad de propagación dividida por la frecuencia.

Si comparamos las ondas electromagnéticas con el sonido, no solo nos encontramos con que la naturaleza es totalmente distinta, sino que sus características como ta-

les ondas se separan enormemente las unas de las otras. La velocidad de propagación de las ondas sonoras es de 344 metros por segundo; las electromagnéticas tienen una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, equivalente a 300.000.000 metros por segundo, es decir, 872.000 veces mayor. Los límites de audibilidad para el sonido son de 20 hertz a 20.000 hertz por el oído humano, mientras que las frecuencias límites de las ondas electromagnéticas (luz) captables por el ojo humano van de $3,8 \times 10^{14}$ hasta $7,9 \times 10^{14}$ hertz. Si se elige como sonido típico el “la” central del piano que se afina a 440 hertz, y siendo la velocidad del sonido 344 metros por segundo, se obtiene una longitud de onda de 0,782 metros. Como onda típica del espectro visible elegimos la de longitud 5.600 angstrom. Es frecuente que las pequeñas longitudes en Física se midan en angstrom, que vale 10^{-10} metros y es del orden de magnitud del diámetro atómico. Por tanto la longitud de la onda elegida es de 5.600×10^{-10} metros al naranja amarillento ofreciendo la máxima sensibilidad al ojo humano. La frecuencia la hallamos dividiendo la velocidad de la luz que es 3×10^8 metros por segundo entre la longitud de onda citada. Esto da una frecuencia de $5,36 \times 10^{14}$ hertz y, como se ve, no tiene nada que ver con la frecuencia del “la” normal de 440 hertz.

Si es sorprendente la extensión de los espectros visible y audible perceptibles por nuestros sensores, más sorprendente es la extensión total de ambos espectros transmisibles. Hay sonidos con frecuencias inferiores a los 20 hertz, son los infrasonidos; con frecuencias superiores a los 20.000 hertz son los ultrasonidos. Entre uno y otro caben 10 octavas. Recuérdese que en música, octava es el intervalo entre dos sonidos de los cuales el agudo tiene frecuencia doble al del grave, (el piano tiene unas 7 octavas). Pues bien, el espectro de ondas electromagnéticas tiene 46 octavas. La parte visible corresponde a la longitud de 7.800 angstrom a 3.900 angstrom. Menores frecuencias, es decir, ondas más largas, son las ondas de radio y telecomunicación y los infrarrojos. Ondas más cortas que el espectro visible son la luz ultravioleta (que no se ve), los rayos X y los rayos gamma. De todo este espectro, el ojo solo percibe 1 octava de las 46 existentes. Las frecuencias las hemos valorado en octavas, aunque esta palabra solo se usa en las ondas musicales. Se concluye, pues, que el ojo humano es un sensor mucho más selectivo entre las ondas electromagnéticas, de lo que el oído es para las ondas en el aire.

■ Vuelven las partículas

Las ondas electromagnéticas se presentaban, pues, como análogas a las ondas mecánicas a través de la materia, salvo las marcadas diferencias cuantitativas que acabamos de comentar y la ausencia de un medio de propagación conocido. El enlace

más fuerte lo constituía la ecuación de ondas, que describía con gran elegancia matemática la analogía entre ambos fenómenos.

El fenómeno se ofrecía bastante satisfactorio para explicar la propagación de las ondas, es decir, para “verlas pasar”, pero no lo era tanto en las interacciones de las ondas con la materia, especialmente en su generación y en su absorción. Seguía habiendo experimentos importantes, como la dispersión de la luz en las sombras y la interacción entre haces de luz, que podían sumar sus efectos o anularlos, y que hallaban cumplida explicación con la teoría ondulatoria, sin encontrar su lugar en la teoría corpuscular. Sin embargo, esta teoría encajaba perfectamente para explicar el efecto Compton, así llamado por haber sido descubierto por el físico estadounidense en 1923 Arthur Holly Compton (1892-1962). El efecto consistía en el aumento de la longitud de onda de los rayos X cuando estos “chocan” con electrones. Destacamos la palabra “chocar”, porque el choque entre partículas estaba bien conocido y estudiado. En él se conservaban siempre la cantidad de movimiento total de las partículas interviniientes y, si el choque era elástico, también se conservaba la energía. Estas leyes de conservación son fundamentales en Física, pero no se podía describir el choque de una onda con una partícula. El propio concepto de choque era inaplicable.

Ante este cuadro de hechos contradictorios se pensó que la luz no podía ser comprendida por analogía con las ondas mecánicas, ni como un chorro de partículas. Había que aceptar que la luz solo podía explicarse por la mera descripción de sus propiedades. Esto equivalía a “tirar la toalla”, pero tal actitud no es propia de la ciencia ni satisface a los científicos.

El tema era demasiado importante para dejarlo así, por dos razones fundamentales. La luz y, en general, las ondas electromagnéticas son grandes portadoras de energía y de información que conducen por el espacio vacío a alta velocidad. Otras energías sólo se pueden transportar mediante el movimiento del material en que se encuentran almacenadas. Por el contrario, la energía lumínica está siempre en movimiento y solo de manera indirecta y a pequeña escala está afectada por el movimiento de la materia, a través de la cual pasa. Cuando la energía de la luz deja de moverse, por haber sido absorbida por la materia, aquella deja de existir.

El segundo tesoro –no dudamos en calificarlo así– es la información. Las ondas sonoras son el principal canal de intercambio de información entre los humanos; ellas nos descubren la estructura interna de nuestro planeta y nos ofrecen el mundo de la música. Los ojos aportan al cerebro más información que cualquier otro sensor de nuestro orga-

nismo. Aun así, en el sistema óptico que constituye el sentido de la vista solo se recoge una pequeña proporción de la que contiene la luz que llega a la retina. Los instrumentos ópticos, por ejemplo, multiplican enormemente la información que parte de la fuente de luz. Telescopios y radiotelescopios, espectrógrafos, microscopios ópticos y electrónicos, y tantos y tantos aparatos, potencian el sentido de la vista de tal manera que el cerebro tendría dificultad o imposibilidad de elaborar tal caudal de información. Y todo ello a pesar de que el ojo es un sensor altamente selectivo, como ha sido ya comentado.

■ **Dualidad onda-corpúsculo**

La idea vino de la mano de un físico francés, Louis Victor de Broglie (1892-1987), quien postuló en 1924 que los electrones, como la luz, tenían propiedades ondulatorias. Pocos años más tarde esta hipótesis fue confirmada por el descubrimiento de fenómenos de difracción análogos a los de la óptica ondulatoria. Estamos acostumbrados a manejar objetos de los que nuestra experiencia sensorial nos da su forma, así como su posición en el espacio y la trayectoria que describen en su movimiento. Se tendió a suponer que las partículas elementales, que ya se conocían (electrones, protones, neutrones, etc.), se comportaban de la misma manera, pero nuestros sentidos, como otras veces, nos engañaron. A cada partícula había que asociar una onda, de la misma manera que a cada onda había que asociar una partícula. Las propiedades cuantitativas características de una onda son la longitud de onda y la frecuencia, los de una partícula son su energía y su cantidad de movimiento. Era lógico que los unos se encontraran relacionados con los otros y, en efecto, así fue, a través de relaciones matemáticas extremadamente sencillas, y una constante, la constante de Planck (de la que volveremos a hablar) una de las más importantes de la Física. La longitud de onda (de la onda asociada) era inversamente proporcional a la cantidad de movimiento de la partícula, y la frecuencia de dicha onda era directamente proporcional a la energía. La constante de proporcionalidad para la primera relación era la constante de Planck y su inversa para la segunda relación. Desde entonces las cuatro propiedades se predicen indistintamente de la onda o de su partícula, pues ambas constituyen una única realidad física.

■ **Una polisemía peligrosa**

No sería tan peligrosa, si no fuera porque en Física se utiliza frecuentemente el vocablo con uno u otro significado. Nos referimos a la voz “cuantificación”. Del Dicciona-

rio de la Lengua Española en su 22^a edición (2001) tomamos dos de sus acepciones: 1, Expresar numéricamente una magnitud; 2. Introducir los principios de la mecánica cuántica en el estudio de un fenómeno físico. La primera acepción se utiliza en cualquier ámbito de la Física; la segunda es propia de la mecánica o de la óptica cuántica. Me pregunto por qué no se ha adoptado la palabra “quantificación” y sus derivados y, sobre todo, la voz inicial “quanto” de energía. Supongo que deben existir poderosas razones para ello, pero que no han existido para aceptar los términos quark y quasar.

Decir que nuestro mundo está cuantificado, o más clara e incorrectamente dicho, “quantizado” es algo que ya pensaba Demócrito (nacido alrededor de 460 a.C.). El padre del atomismo enseñaba que todo consta de innumerables partículas finitas que difieren solo en tamaño y forma. Hoy se sabe científicamente que esto es así, lo cual no era óbice para que la Física utilizara el modelo continuo de la materia y de la energía.

En la teoría clásica de las ondas electromagnéticas, la absorción de la luz es un proceso continuo y no hay más límite inferior que la cantidad de energía que un átomo puede absorber de una luz monocromática. La energía puede ser intercambiada en cantidades infinitamente pequeñas entre la radiación y los átomos existentes en una cavidad que se encuentra en equilibrio térmico. La energía total de la cavidad en equilibrio, a cierta temperatura, debe distribuirse de tal manera que a cada grado de libertad de las moléculas le corresponde una cantidad de energía proporcional a la temperatura. A la constante de proporcionalidad se llama constante Boltzmann, en honor del físico austriaco Ludwig Boltzmann (1844-1906), notable por sus aportaciones a la teoría cinética de los gases.

Forma parte de la experiencia corriente que al abrir la boca de un horno, si observamos su interior por un visor, existe una relación entre el color observado y la temperatura a la que el horno se encuentra. Si se ve el interior muy brillante, el horno está a temperatura alta, es decir, la radiación de equilibrio en su interior es elevada, pero se ve completamente negra a baja temperatura (calor negro). En ese caso la intensidad de radiación de equilibrio es pequeña en la parte visible del espectro de ondas electromagnéticas (rayos infrarrojos).

La relación entre la energía radiante emitida dependiendo de la frecuencia era expresada por la ley de Rayleigh-Jeans, así llamada por haber sido descubierta por los físicos británicos John William Strutt, 3^{er} Barón de Rayleigh (1842-1919), y Sir James Hopwood Jeans (1877-1946). La ley fue derivada como consecuencia lógica

de la teoría ondulatoria clásica y funcionaba aceptablemente para bajas frecuencias, pero no así para altas frecuencias, que producen un aumento sin límite de la radiación, lo que implicaba que, en el equilibrio, toda la energía del universo debería encontrarse en el extremo de las altas frecuencias del espectro electromagnético y no existir nada en la materia. La predicción de esta catástrofe podía soslayarse suponiendo la existencia de un límite superior para las frecuencias de radiación según la ley citada, admitiendo que la ley no funciona con las frecuencias altas del espectro visible y el ultravioleta.

Razonamientos termodinámicos muy generales ponían de manifiesto que la radiación emitida por un cuerpo negro depende únicamente de la temperatura del cuerpo, al margen de toda otra propiedad. La distribución espectral de la intensidad de radiación emitida por el cuerpo negro es, pues, una expresión fundamental que debe ser deducible por los métodos de la termodinámica estadística a partir de las leyes generales de la interacción entre materia y radiación. La expresión deducida a partir de la teoría clásica choca frontalmente con la experiencia. A fin del siglo XIX, un físico alemán, Max Karl Ludwig Planck (1858-1947) cortó el nudo, al menos para sus contemporáneos, aunque más tarde se puso de manifiesto que la cuerda estaba intacta. Planck emitió la revolucionaria hipótesis de que los intercambios de energía entre materia y radiación no se efectuaban de manera continua, sino por cantidades discretas e indivisibles llamadas cuantos de energía. Planck estableció que el cuanto de energía era proporcional a la frecuencia de la radiación y a la constante de proporcionalidad se la llamó constante de Planck, siendo hoy una de las constantes más importantes de la Física.

■ **La teoría corpuscular de la luz se afianza**

Los hechos experimentales exigían una completa revisión de la teoría de las ondas electromagnéticas de Maxwell, apuntando todo a un retorno de la teoría corpuscular. Contribuyó a ello el físico alemán Albert Einstein (1879-1955) en 1905 con su memoria sobre el efecto fotoeléctrico. Este efecto fue observado por el físico también alemán Rudolf Heinrich Hertz (1857-1894), quien investigando la descarga eléctrica entre dos electrodos como fuente de las ondas electromagnéticas que llevan su nombre (herzianas) observó que la intensidad de la descarga aumentaba cuando se iluminaban los electrodos con luz ultravioleta. Esto probaba que las superficies iluminadas emitían más electrones. Poco después se observó que se producían emisiones electrónicas al iluminar la superficie de otros metales. A los electrones así liberados, y en razón de

su origen y no de su naturaleza, se les llamó fotoelectrones, como se designó por termoelectrones aquellos que recibían la energía necesaria por calentamiento del metal en que se encontraban. En los metales, además de aquellos que orbitan en torno a un núcleo, existen otros que se mueven con cierta libertad a través de la red cristalina. Son estos los que con su movimiento originan la corriente eléctrica. Estos electrones no escapan espontáneamente del metal, pues no tienen energía suficiente para saltar la barrera electrostática que limita su superficie. Esta energía hay que proporcionársela a los electrones por medio del calor o de una onda electromagnética, y el exceso de lo recibido para saltar la barrera de potencial, la lleva consigo el electrón en forma de energía cinética.

Einstein observó que la energía de los fotoelectrones depende de la frecuencia de la radiación, de tal manera que los electrones libres del metal se comportan de la misma manera que Planck propuso para las oscilaciones atómicas en relación con la radiación emitida por el cuerpo negro. La energía necesaria para que un electrón salte la barrera no es la misma para todos ellos y se llama energía de arranque. Los que tengan menor energía de arranque dispondrán de un exceso máximo que llevarán consigo como energía cinética. El experimento permitió, además, hallar el valor de la constante de Planck, que es $h=6,6256 \times 10^{-34}$ julios x segundo. Al multiplicar esta constante por la frecuencia de la onda, se obtiene la energía del fotón. Pero los fotones merecen un nuevo apartado.

■ El fotón

Ya se ha comentado anteriormente la dualidad onda-corpúsculo, que asocia a cada onda una partícula elemental y recíprocamente. Pues bien, el fotón es la partícula elemental asociada a las ondas de luz. Al igual que ellas, el fotón tiene una energía y una cantidad de movimiento. También la onda transporta una energía y una cantidad de movimiento, conceptos propios de la mecánica. La energía (cinética) de un cuerpo en movimiento es el semiproducto de su masa por el cuadrado de la velocidad, y la cantidad de movimiento es el producto de su masa por su velocidad.

Hemos dicho que el fotón es una partícula elemental. Pero eso no es mucho decir, porque existen bastantes partículas elementales. Unas son conocidas fuera de los medios científicos y se pueden encontrar citados en los libros de texto previos a la universidad, como el electrón, el protón y el neutrón. Algunas otras están ya “fichadas”, pero no han sido aisladas, siendo de esperar que en un futuro no muy lejano cedan a

la actividad investigadora. El número de ellas es una veintena aproximadamente, sin contar con que cada una tiene su antipartícula, lo que duplica este número.

Generalmente las partículas se presentan tabuladas e individualizadas por un símbolo, como los elementos químicos. Tienen (no siempre) una masa que se refiere a la del electrón. Con esta unidad la masa del electrón es obviamente 1. Otras son cientos, y algunas de ellas miles de veces mayores que el electrón. El electrón fue la primera en ser descubierta. Su masa es 9.1091×10^{-31} kilogramos. Debe tenerse presente que las partículas son objetos que se mueven a velocidades comparables a la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo), por lo que han de ser estudiadas aplicando la teoría de la relatividad, según la cual la masa de un cuerpo depende de su velocidad. Por ello se da siempre su “masa en reposo”, que es la que hemos apuntado para el electrón.

Algunas partículas no tienen carga eléctrica, pero otras la tienen positiva o negativa y siempre múltiplos sencillos de la carga del electrón, que es negativa y vale 1.6021×10^{-19} culombios. Bastantes partículas –aunque no todas– giran sobre sí mismas (como lo hace la Tierra). A este giro se le llama en inglés “spin” (girar, dar vueltas). La Real Academia Española de la Lengua lo ha incorporado a su diccionario con la grafía espín, definiéndolo como “movimiento intrínseco de rotación de una partícula elemental o de un núcleo atómico”. Este giro viene evaluado por un número cuántico semientero ($0, 1/2, 1, 3/2, 2\dots$) propio de cada partícula.

Después de esta incursión, casi tímida, por el mundo de las partículas elementales, a veces llamadas fundamentales, damos la tarjeta de identidad del fotón. Su símbolo es la letra griega gamma minúscula, su masa en reposo es nula, su carga eléctrica es también nula y su espín vale 1. Es una partícula estable, lo que no es frecuente entre las partículas elementales, cuya vida se reduce a pequeñísimas fracciones de segundo.

Los fotones pueden nacer o morir, pero durante su existencia se han de mover permanentemente a la velocidad de la luz. Si se detienen, entregan su energía y resultan aniquilados. Su energía y su cantidad de movimiento son proporcionales, siendo la primera el producto de la velocidad de la luz por la segunda, lo que no ocurre en la mecánica clásica. En la interacción con la materia, como en el efecto Compton, se respetan las leyes de conservación de la energía y de la cantidad de movimiento. La energía de un fotón de una luz monocromática se obtiene multiplicando la constante de Planck por la frecuencia de la radiación electromagnética. Los más energéticos

proviene de los rayos cósmicos y, dentro de la luz visible, los correspondientes a la luz violeta.

■ **Átomos excitados y átomos relajados**

Es bastante conocido el modelo atómico que en 1913 propuso el físico danés Niels Henrik David Bohr (1885-1962). En él supuso que el átomo presentaba una organización planetaria en la que los electrones orbitales giraban sobre órbitas circulares con centro en el núcleo atómico, mucho menor que el átomo. El diámetro de este es del orden de 10^{-10} metros y el del núcleo es de 10^{-15} metros, es decir, diez mil veces menor.

El electromagnetismo enseñaba que una carga eléctrica acelerada emite energía radiante. Los electrones planetarios de Bohr tenían, como todos los electrones, carga eléctrica negativa y sufren una aceleración centrípeta, como todo cuerpo que viaja sobre una trayectoria circular. Según esto, el átomo debía emitir energía y sus electrones orbitales perder progresivamente la energía que emiten, lo cual comportaría una disminución de su radio de giro, hasta acabar precipitándose sobre el núcleo. Nada mostraba que esto fuera así. Bohr postuló que en el átomo no se cumple la ley de radiación de energía por cargas aceleradas. Supuso, además, que el número de órbitas posibles era limitado y que solo se emitía un cuanto de energía cuando un electrón saltaba de una órbita de mayor energía (mayor radio), a otra de menor energía (menor radio).

Si un átomo absorbe un fotón, este queda aniquilado y el átomo se excita, absorbiendo un cuanto de energía, por lo que uno de sus electrones pasa a girar sobre una órbita superior. Esta situación se mantiene durante un tiempo de 10^{-8} segundos. Puede parecer muy breve, pero si se piensa que la revolución de un electrón alrededor del núcleo le ocupa un tiempo de 10^{-15} segundos, quiere esto decir que mientras el átomo está excitado el electrón efectúa 10 millones de vueltas alrededor del núcleo sobre la órbita superior. Estos órdenes de magnitud nos ponen de manifiesto que un electrón excitado, durante el tiempo de excitación da más vueltas alrededor del núcleo atómico que nuestro planeta ha dado alrededor del Sol desde que nuestra especie vive sobre él.

Al cesar la excitación, el electrón vuelve a la órbita primitiva de menor energía y “devuelve” al entorno el fotón que había recibido. Lo hemos destacado porque el primer fotón se aniquiló y ahora se genera otro con 1 cuanto de energía, que el átomo devuelve al entorno, restableciendo el equilibrio energético. Desde el punto de vista

ondulatorio, este cuadro de luz está constituido por un tren de ondas de unos 3 metros de longitud aproximadamente.

No debe pensarse que estos fenómenos de emisión de luz ocurren solo en los aparatos de los laboratorios de investigación. Constituyen la propiedad de las sustancias, fluorescentes y fosforescentes. En ambos casos se trata de substancias que emiten luz después de haber sido iluminadas. En el primer caso (fluorescencia) el reenvío del fotón absorbido es prácticamente instantáneo, del orden de 10^{-8} segundos, antes citado. En el segundo caso (fosforescencia), puede durar desde 1 milisegundo hasta meses o años.

Un ejemplo de fluorescencia lo encontramos en las señales de tráfico mal llamadas reflectantes, pues no reflejan la luz, como lo haría un espejo, sino que están cubiertas con un material fluorescente. Los faros del vehículo (los fotones) excitan sus átomos y estos la devuelven parcialmente, quedando la señal oscura una vez que el vehículo la ha superado. En cuanto a la fosforescencia la encontramos en esferas luminosas de relojes u objetos de decoración que aparecen luminosos en la oscuridad de la noche.

La fosforescencia se debe a que los átomos de las sustancias que la poseen tienen un estado metaestable constituido por una órbita en la que puede caer el electrón al abandonar la órbita de energía superior. Este estado metaestable es una trampa electrónica y la transición desde este nivel a otro es prohibida o de acceso muy improbable. Una vez que el electrón ha caído de la órbita excitada al estado metaestable, puede volver espontáneamente al nivel inferior en algún momento o pasar al superior por agitación térmica (termoluminiscencia). El tiempo promedio que los electrones de distintos átomos pueden permanecer en el estado metaestable determina la duración de la fosforescencia.

■ La unión hace la fuerza

Como hemos explicado anteriormente, la radiación electromagnética encerrada en una cavidad y en equilibrio térmico con los átomos de las paredes de la misma se denomina radiación de cuerpo negro. Los átomos de las paredes de la cavidad absorben y reemiten radiación continuamente, hasta que se alcanza el equilibrio cuando la emisión y la absorción por unidad de tiempo son iguales. En el equilibrio el espectro de radiación electromagnética encerrada tiene una distribución de energía bien defi-

nida: a cada frecuencia corresponde una intensidad de radiación de cuerpo negro que depende únicamente de la temperatura de las paredes y es independiente del material con que están hechos. La radiación del cuerpo negro se comporta como un gas de fotones. Se supone que éstos no interactúan entre sí y solo lo hacen con los átomos de las paredes. Los fotones son indistinguibles y nada impide que muchos fotones tengan la misma energía. Por ello, a cada frecuencia se puede aumentar sin límite la intensidad de la radiación. Como los átomos de las paredes de la cavidad pueden absorber o emitir fotones, su número no es constante.

Se puede decir que la situación descrita es totalmente caótica. La luz emitida por todos los fotones no tiene la misma longitud de onda, ni la misma dirección, ni la misma fase, ni la misma polarización. Cada átomo, al cesar su periodo de excitación, emite luz espontáneamente (radiación espontánea), sin ser forzado a ello por ningún agente externo.

En un instante determinado la población total de átomos está repartida entre dos niveles: uno, el de los átomos excitados, o de energía alta; y otro, el de los átomos no excitados o de energía baja. Por supuesto, el lenguaje es puramente convencional. En ese momento, un fotón con la frecuencia adecuada incide sobre el conjunto. Puede provocar uno de estos dos efectos: excitar un átomo no excitado o, desexcitar un átomo excitado, con lo que parten de él dos fotones (emisión inducida). Estos dos fotones son de radiación coherente; es decir, de misma longitud de onda, misma dirección y de la misma fase. En lenguaje musical diríamos que lo hacen al unísono. Ambos efectos tienen una probabilidad de producirse y, consecuentemente, se altera el número de átomos en ambos estados.

Si la sustancia está en equilibrio térmico, el número de átomos excitados es menor que los del estado fundamental. Pero si por algún medio se invierte la población relativa de los dos niveles, la cantidad de energía emitida sería mayor que la absorbida; es decir, si una radiación tiene una cierta densidad de energía de determinada frecuencia atraviesa el sistema, la radiación emergente tiene más fotones de esa frecuencia que la radiación incidente, es decir, ha habido una amplificación de la radiación a esa frecuencia. A partir de ahí se desexcitarían más átomos de los que los que se excitaban, por lo que el nivel de alta energía comienza a vaciarse y la amplificación disminuye hasta que se restablece el equilibrio térmico. Entonces hay que alimentar con más átomos el nivel superior, o sacarlos por algún otro medio del nivel inferior. Este es el fundamento de la luz LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

En 1917, Einstein previó la posible existencia de luz estimulada, pero hasta la década de 1950 no se dispuso de aparatos que la emitieran de manera continua o por pulsos.

■ **Los intocables**

Cosas muy distintas en Física son manejar grandes conjuntos de partículas o iones, o hacerlo individualmente. A partir del conocimiento de las leyes de interacción individual, como el choque de moléculas gaseosas, se llega al conocimiento de las leyes macroscópicas a las que obedecen, por ejemplo, una masa de gas. Esta metodología es la que sigue una rama tradicional de la Física, llamada Física estadística. Otra cosa distinta es poder manejarla individualmente para hacerlas objeto de estudio. Al intentar observarlos individualmente, los fotones se desvanecen.

El paso dado por los receptores del Premio Nobel es el descubrimiento de métodos que permiten que estas partículas subsistan el tiempo necesario para observar su estado individualizado y, en concreto sus propiedades cuánticas. Se pretende con ello una mejor comprensión de las interacciones entre la materia y los campos electromagnéticos, lo que puede lograrse al conseguir que los efectos cuánticos se mantengan durante tiempos muy largos comparados con los fenómenos que ocurren en la naturaleza. El equipo de investigación francés lo logró utilizando átomos para estudiar la luz. El americano hizo lo contrario: utilizar la luz para estudiar iones que son átomos con carga eléctrica.

Entre las aplicaciones que esto puede tener se apuntan los relojes cuánticos con exactitud cien veces superior a los relojes atómicos de cesio, actualmente utilizados. En estos relojes se basa actualmente la definición de segundo, que es 9192631770 periodos de la radiación entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133. Es una de las cantidades físicas medidas con mayor exactitud, con un error de 1 entre 10^{11} .

Otra aplicación se orienta hacia la construcción de un nuevo tipo de ordenador superrápido basado en la Física cuántica. El propio Wineland probó por primera vez que era posible efectuar cálculos aritméticos con bits cuánticos (qubits). Se recuerda que el bit es el dígito binario, o cifra en el sistema binario de numeración (0, 1).

El enfriamiento de átomos e iones utilizando el láser se convirtió en un procedimiento habitual para físicos atómicos y ópticos cuánticos en los años que rodearon el

último cambio de siglo. Por enfriamiento se entiende el hecho de hacer perder energía cinética a las partículas. Pero aquí se predica este hecho de una partícula aislada, con lo cual nos apartamos de la idea de temperatura, relacionada con la energía cinética media de una masa de gas, o líquido, o de un sólido. Esto fue comunicado alrededor de 1980. Para ello era necesario atrapar la partícula o ión, aislarla y enfriarla.

El enfriamiento láser de iones atrapados se desarrolla aplicándolo a los átomos neutros captados por ondas estacionarias. Esta técnica se basa en la posibilidad de alcanzar por enfriamiento un estado fundamental y en la capacidad de manejar un estado cuántico de forma bien controlada. Todo ello ha permitido profundizar en la comprensión de los efectos mecánicos de la radiación y ha sido práctico para desarrollos punteros en la óptica cuántica experimental.

Estas técnicas continúan siendo campo activo de investigación pero ya se han convertido en rutina para muchos laboratorios, donde ya se manejan variados procedimientos de enfriamiento a fines de espectroscopía de precisión y óptica cuántica.

■ **Habla la Academia Sueca de Ciencias**

Para explicar de manera sencilla y sin recurrir a formulaciones propias de la óptica cuántica, nos parece lo más oportuno basarnos en el informe emitido por la propia Academia Sueca de Ciencias, donde se afirma que Serge Haroche y David J. Wineland han concebido y desarrollado independientemente métodos pioneros para medir y manipular partículas aisladas, conservando al mismo tiempo su naturaleza mecano-cuántica, por procedimientos que antes se consideraban inalcanzables.

Haroche y Wineland han abierto la puerta a una nueva era de experimentación en Física cuántica al presentar la observación directa de sistemas cuánticos individuales sin destruirlos. Con sus ingeniosos métodos de laboratorio se las han arreglado para medir y controlar estados cuánticos muy frágiles, permitiendo que su campo de investigación de los primerísimos pasos hacia la construcción de un nuevo tipo de computador superrápido, basado en la Física cuántica. Estos métodos han conducido también a la construcción de relojes extremadamente exactos que podían convertirse en la base futura para definir la unidad de tiempo, con una precisión cien veces superior a la que permitían los actuales relojes de cesio.

Para partículas aisladas de luz o materia dejan de cumplirse las leyes de la Física clásica y han de ser sustituidas por las de la Física cuántica. Pero las partículas individuales no son fácilmente aislables del entorno que las rodea y pierden sus misteriosas propiedades cuánticas apenas interactúan con el mundo exterior. Por ello, muchos fenómenos aparentemente curiosos predichos por mecánica cuántica no se podían observar directamente, y los investigadores solo podían llevar a cabo “experiencias del pensamiento” que pudieran poner de manifiesto en principio estos curiosos fenómenos.

Los dos galardonados trabajan en el campo de la óptica cuántica estudiando las interacciones fundamentales entre luz y materia, un campo que ha progresado considerablemente desde mediados de los años ochenta. Sus métodos tienen mucho en común. David Wineland atrapa átomos con carga eléctrica, o iones, controlándolos y midiéndolos con luz, o fotones. Serge Haroche sigue el camino opuesto: controla y mide fotones atrapados, o partículas de luz haciendo pasar átomos a través de la trampa.

■ Controlando iones

Wineland construye la trampa con campos eléctricos de sentido opuesto creando lo que se llama un pozo de potencial eléctrico y aislándolos del calor y de la radiación de su entorno, realizando el experimento en el vacío y a temperaturas extremadamente bajas.

Uno de los secretos que se hallan tras el avance de Wineland es la maestría en el arte de utilizar y crear haces pulsantes de láser. Se utiliza el láser para suprimir el movimiento térmico de los iones en la trampa, llevando al ion a su nivel de energía más bajo, permitiendo así el estudio de los fenómenos cuánticos en el ion atrapado. Se puede utilizar un pulso láser cuidadosamente sintonizado para situar al ion en un estado de “superposición” que es una existencia simultánea de dos estados cuánticos claramente diferentes. Por ejemplo, el ión se puede preparar para ocupar dos niveles energéticos simultáneamente. Empieza en el nivel energético más bajo y el pulso láser solo le lanza a situarse a medio camino del estado energético más alto, de manera que al ión se le deja entre los dos niveles, en una superposición de estados energéticos, con igual probabilidad de acabar en uno de ellos. Por este procedimiento se puede estudiar una superposición cuántica de estados de energía iónica.

■ Controlando fotones

Serge Haroche y su equipo de investigadores emplean un método diferente para desvelar los misterios del mundo cuántico. En el laboratorio de París, los fotones de microondas rebotan en un movimiento de vaivén dentro de una pequeña cavidad entre dos espejos, separados unos tres centímetros. Los espejos están hechos de material superconductor y están enfriados a una temperatura ligeramente por encima del cero absoluto. Estos espejos superconductores son lo más brillante del mundo, es decir, ofrecen la más pura y neta reflexión de la luz. Son tan buenos reflectantes que un solo fotón puede ir y venir entre ellos dentro de la cavidad durante casi 0,1 segundos, antes de que el fotón se pierda o sea absorbido. Este tiempo récord de vida significa que el fotón habría viajado 40.000 kilómetros equivalentes a una vuelta alrededor de la Tierra.

Durante el tiempo de su larga vida, se pueden llevar a cabo muchas manipulaciones cuánticas con el fotón atrapado. Haroche utiliza átomos especialmente preparados, llamados átomos de Rydberg por el físico sueco Johannes Robert Rydberg (1854-1919), para controlar y medir el fotón de microondas en la cavidad. Un átomo de Rydberg tiene un radio de 125 nanómetros = 1250 angstrom, que es aproximadamente 1.000 veces mayor que un átomo típico, de algo más que 1 angstrom. Estos gigantescos átomos de Rydberg, de forma toroidal, son introducidos en la cavidad uno a uno a una velocidad cuidadosamente elegida, de manera que la interacción con el fotón de microondas se realiza de manera bien controlada.

El átomo de Rydberg atraviesa y sale de la cavidad, dejando atrás el fotón de microondas. Para la interacción entre el fotón y el átomo crean un desfase del estado cuántico del átomo, es decir, en la onda asociada al átomo. Este desfase se puede medir cuando el átomo sale de la cavidad, manifestando así la presencia o ausencia del fotón dentro de la misma. Si no hay ningún fotón, no hay desfase. Haroche puede así medir un fotón aislado sin destruirlo.

Con un método similar, Haroche y su grupo son capaces de contar los fotones existentes dentro de la cavidad. Esto puede parecer fácil pero requiere una destreza y habilidad extraordinarias, ya que los fotones, a diferencia de los cuerpos ordinarios, se destruyen inmediatamente al ponerse en contacto con el mundo exterior. Basándose en sus métodos para contar fotones, Haroche y sus colaboradores han concebido métodos para seguir la evolución de un estado cuántico individual paso a paso, en tiempo real.

■ Determinismo en Física

En este apartado transcribimos algunos de los párrafos de mi discurso de ingreso en esta Real Academia de Doctores de España, en 1991.

Laplace (Pierre Simon, Marqués de) (1749-1827), extendió la Teoría de la Gravitación de Newton al conjunto del sistema solar, lo que constituía un complejo problema. En efecto, según las observaciones realizadas desde el tiempo del astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), es decir, durante dos siglos, la órbita de Júpiter se estaba reduciendo continuamente, mientras que la de Saturno se ampliaba. El hecho había sorprendido a Newton, quien, al no poder explorar matemáticamente fenómenos tan complejos, supuso una periódica intervención divina para arreglar las cosas y evitar la catástrofe. Laplace por cálculos matemáticos concluyó en la invariancia del movimiento medio planetario. Era el paso más importante en la Física astronómica desde Newton.

Laplace resume los resultados obtenidos por medio de cálculos matemáticos y la aplicación de la Ley de la Gravitación de Newton en su gran obra titulada *Traité de Mecanique Celeste*. El alcance de sus conclusiones queda reflejado en sus propias palabras:

“Presentamos en la primera parte de este trabajo los principios generales del equilibrio y del movimiento de los cuerpos. La aplicación de estos principios a los movimientos de los cuerpos celestes nos ha conducido por razonamientos geométricos, sin hipótesis alguna a la ley de atracción universal. La acción de la gravedad y el movimiento de los proyectiles son casos particulares de esta ley. Consideramos después un sistema de cuerpos a esta universal ley de la Naturaleza y obtenemos, por un análisis singular, las expresiones generales de sus movimientos, de sus figuras y de las oscilaciones en los fluidos que los cubren. De estas expresiones deducimos todos los fenómenos conocidos de la subida y bajada de las mareas, las variaciones de los grados y de la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, la precisión de los equinoccios, el movimiento de vibración de la Luna y rotación de los anillos de Saturno. Hemos señalado también la causa de que estos anillos permanezcan continuamente en el plano del ecuador de Saturno. Además, hemos deducido de la misma teoría de la gravitación las ecuaciones principales de los movimientos de los planetas, en particular de los de Júpiter y Saturno, cuyas grandes perturbaciones tienen los períodos de cerca de novecientos años”.

Podemos resumir lo anterior diciendo que la cosa funcionaba, y funcionaba muy bien. El Universo, como realización de un magnífico orden, respondía perfectamente a las leyes de la Física. Laplace se entusiasmaba con sus propias conclusiones y añade:

“Las irregularidades de los dos planetas –se refiere a Júpiter y Saturno- parecían antiguamente inexplicables por la ley de la gravedad universal. Ahora constituyen uno de sus demostraciones más llamativas. Tal ha sido el destino de este descubrimiento brillante, que cada dificultad que ha surgido ha resultado para él un nuevo motivo de confirmación, circunstancia que es la característica más cierta del verdadero sistema de la Naturaleza”.

Pero Laplace no lo explica todo, al menos todo lo que hoy sabemos. Por ejemplo, la Tierra no es un cuerpo rígido, los movimientos de los fluidos que afectan al manto y a la corteza, así como las variaciones del nivel global de los mares, debidas a la congelación o fusión del hielo polar, alteran el momento de inercia del planeta y afectan a su velocidad de rotación. El sistema no es, además, conservativo, pues los fenómenos de marea frenan el movimiento de los cuerpos celestes y, en el caso de la Tierra, suponen un incremento gradual de 2 mili-segundos por siglo. Las medidas se han hecho mucho más precisas y el láser ha permitido conocer que la Luna se aleja de la Tierra 4 cm por año.

Sin embargo, Laplace no se plantea estas reservas y afirma que el sistema está diseñado *“para una duración eterna, mediante los principios que prevalecen tan admirablemente en la Tierra misma para la conservación de los individuos y para la perpetuidad de las especies”*. Llegado a este punto, para pasar de la Física a la Filosofía no faltaba más que un paso y Laplace lo dio, contribuyendo al desarrollo del determinismo, según el cual todos y cada uno de los sucesos del Universo están sometidos a las leyes naturales. Así lo expone en su *Ensayo Filosófico*. Volvamos a escucharle.

“Así, pues, deberíamos considerar el estado presente del Universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que le va a seguir. Supuesto por un instante una inteligencia que pudiera captar todas las fuerzas que animan la Naturaleza y la situación respecto a los seres que la componen, una inteligencia suficientemente amplia para someter esos datos a análisis, abarcaría en una misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del Universo, y las del átomo más ligero. Para ello, nada sería incierto, y el futuro tanto como el pasado estarían presentes a sus ojos. La mente humana ofrece,

en la perfección que ha sido capaz de dar a la astronomía una remota idea de esa inteligencia. Su descubrimiento de la mecánica y geometría, unidas a las de la gravitación universal, le han capacitado para comprender en las mismas expresiones analíticas los estados del pasado y futuro del sistema del mundo. Aplicando el mismo método a algunos campos de su conocimiento ha logrado comprender fenómenos reservados a leyes generales y prever aquellos fenómenos que circunstancias dadas han de producir. Todos esos esfuerzos en la búsqueda de la verdad tienden a apuntar continuamente a la amplia inteligencia que hemos mencionado, de la cual la mente humana se verá siempre infinitamente alejada. Esta tendencia peculiar a la raza humana es la que le hace superior a los animales, y su progreso en este respecto distingue a las naciones y a las épocas, y constituye su verdadera gloria”.

Laplace establece que el estado actual del Universo determina tanto el futuro como el pasado. Quien poseyera la información suficiente para descubrir dicho estado en un momento del tiempo posee la historia completa. Esta proyección hacia delante y hacia atrás radica en que el tiempo interviene en la ley fundamental de la dinámica dimensionalmente elevada al cuadrado. En efecto, así ocurre al expresar la aceleración como derivada segunda del espacio respecto al tiempo. Dicha cantidad cinemática, efecto de las fuerzas motrices, resulta invariante ante un cambio de signo del tiempo, y por eso sus conclusiones se extienden en ambos sentidos de la recta real, sobre la que esta variable se representa.

A continuación apela Laplace a una inteligencia capaz de almacenar los datos que describen todas las acciones dinámicas actuantes en un instante determinado, tratándose de un sistema universal habían de ser en todo caso interiores. Ciertamente con los conocimientos de la época, bastaba una información referente a las posiciones de las partículas, sus velocidades y sus masas, pues de ello dependían las correspondientes interacciones. Finalmente era necesaria una descripción cinemática de los cuerpos. En resumen, de cada partícula, por supuesto esférica, habría que conocer seis datos: las tres coordenadas de su posición y las tres correspondientes de la cantidad de movimiento. Si no se consideraban esféricas, habría que duplicar esta información, pues habría que conocer su orientación inicial y su rotación. El duplicar la información, no obstante, no altera el orden de magnitud de esta.

Laplace recaba además de esa inteligencia la capacidad de someter esos datos a análisis, es decir, su elaboración. Esta segunda parte es aún más exigente que la primera, pues el tratamiento analítico se mostró incapaz de ir más allá de dos par-

tículas. El problema de los tres cuerpos, es decir, el estudio del movimiento de tres partículas, que se atraen según la Ley de Gravitación de Newton, hizo correr mucha tinta desde la época de Laplace. Más de 800 trabajos científicos de los matemáticos más notables se ocuparon de él. Las ecuaciones matemáticas que describían el movimiento se planteaban con facilidad, pero se resistían a una solución analítica y la solución numérica con cálculo manual era prácticamente irrealizable. Lagrange encontró algunas soluciones particulares y así quedó hasta fines del siglo XIX, cuando el matemático francés Jules Henri Poincaré (1854-1912) desvaneció todas las esperanzas al demostrar que se trataba de un problema no integrable por ser insuficientes las cantidades conservadas.

La amplia inteligencia que Laplace evoca, será siempre infinitamente superior a la mente humana. Solo nos queda la duda de que si Laplace hubiese vislumbrado los albores del cálculo automático hubiese acaso apeado la exigencia de esa infinitud. En efecto, el mínimo de partículas elementales de nuestro universo se estima en 10^{80} .

No vale la pena inquietarnos por los escurridizos neutrinos que, al ser tomados en consideración, suponen algunos que pueden hallarse presentes en una proporción 100 veces superior. Dos unidades en el exponente no alteran demasiado nuestras reflexiones.

■ Frente al determinismo, la incertidumbre

El concepto determinista del Universo hizo crisis en 1927, cuando el físico alemán Werner Karl Heisenberg (1901-1976) enunció su célebre principio, estableciendo que la posición y la velocidad de un objeto no pueden ser medidas, ambas, exactamente en el mismo momento. La coexistencia de los meros conceptos de posición exacta y velocidad exacta carecen de significado en la Naturaleza. El principio de incertidumbre de Heisenberg no se pone de manifiesto en la experiencia ordinaria, pues su alcance escapa a la observación. Solo se hace significativo cuando se trabaja con las masas muy pequeñas de los átomos o las partículas elementales. El principio pone un límite al conocimiento que se puede obtener por el método científico y destaca la interacción existente entre los objetos observados y el observador. Dicho con otras palabras: este principio, llamado también de indeterminación, se refiere a la incertidumbre que inevitablemente se introduce entre la medida experimental de una cantidad física y el propio proceso de medición. La mecánica clásica impone que se puede medir la velocidad y la posición de cualquier sistema o de cualquiera de sus partes con tanta

exactitud como se desee. Nótese que no se trata aquí de poner la esperanza en contar ni ahora ni nunca con instrumentos de medida más precisos. El principio quita precisamente esa esperanza, pues establece como una ley de la Naturaleza que la posición y la cantidad de movimiento de un sistema no son determinables con cualquier exactitud arbitrariamente fijada. El margen de error (digámoslo así) con que se miden la una y la otra tienen que ser del orden de magnitud de la constante de Planck, ya citada, de $6,6256 \times 10^{-34}$ julios x segundo. Dicho de una manera aún más gráfica. La Naturaleza se niega a revelar para una misma partícula y en un mismo instante la respuesta a estas dos preguntas: ¿Dónde está? y ¿Cómo se mueve? Si la ciencia lograra con sus métodos arrancar a la Naturaleza una respuesta con error nulo (o que tienda a ser nulo) para una de ellas, la respuesta a la otra pregunta se le escaparía hasta el infinito (o tendería a ser infinito el error con que logre medirla). Si alguien se entristece por el carácter negativo o limitativo de esta ley, consuélese meditando en la enorme pequeñez de la constante de Planck.

■ Cuando la física habla en términos de probabilidades

No se puede decir que la Física sea una ciencia exacta. A diferencia de la Matemática que maneja entes de razón, la Física maneja entes reales. La Física expresa las leyes de la Naturaleza con lenguaje matemático, porque es el que mejor se adapta a sus fines, pero de ahí a pensar que pueda transportar a estas leyes la exactitud de la Matemática hay bastante distancia. Desde siempre se han interpuesto en el camino las técnicas de la medida, pero como acabamos de decir, la propia Naturaleza ha manifestado su rechazo a la exactitud, sin alejarse mucho de ella. Visto que no se puede medir exactamente la posición de la partícula y su velocidad, tampoco se puede hablar de su trayectoria en el sentido clásico, como la línea (unidimensional) que describe en su movimiento. Sigue en pie la pregunta, aparentemente sencilla: ¿dónde está la partícula?

El físico austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961) dio la respuesta en términos de probabilidad. No se puede saber dónde está la partícula, pero podemos evaluar la probabilidad de encontrarla aquí o allí. Su célebre ecuación es considerada hoy una de las ecuaciones básicas de la Física cuántica. Schrödinger define la función de ondas que nos ofrece como información la determinación de las regiones del espacio en que es más probable que la partícula se encuentre. La función de onda debe depender del estado dinámico de la partícula, caracterizado por las fuerzas que actúan sobre ella y por su energía total. No es poco. La ecuación de Schrödinger es un ecuación dife-

rencial en derivadas parciales de segundo orden, y lineal. Es integrable para casos de contornos sencillos y, cuando esto no ocurre, siempre queda el recurso del cálculo numérico, hoy potenciado increíblemente con el uso de las computadoras electrónicas.

No creemos oportuno seguir por esta línea en el presente trabajo, pero sí ofrecer una reflexión sobre el concepto de probabilidad. La palabra es de uso corriente, aunque a veces se confunde con la posibilidad. Para un hecho concreto, la posibilidad no puede tener más que dos valores: el hecho es posible o imposible. Por el contrario, la probabilidad se mide o se calcula; un hecho puede ser más o menos probable y su probabilidad va de cero a uno, de forma continua; el cero corresponde a la imposibilidad de que el suceso ocurra, y el uno a la seguridad de que ocurrirá.

La ecuación de Schrödinger da la densidad de probabilidad; es decir, fijado un intervalo espacial infinitamente pequeño se puede evaluar la probabilidad de que la partícula se encuentre allí. Si el intervalo no es infinitamente pequeño, la probabilidad se calcula por la operación matemática de integración.

Aunque no es esta la definición que da la literatura matemática de probabilidad, nos atrevemos a afirmar, algo jocosamente, que es la formulación de la ignorancia. Juguamos a cara o cruz, o a cualquier otro juego de azar, porque suponemos que nuestra ignorancia sobre el resultado es compartida por los demás jugadores. Pero si uno de ellos lanzara la moneda utilizando un complicado aparato que registrara la posición inicial de la moneda, la velocidad de lanzamiento, la temperatura y densidad del aire en la que va a voltear, y las características elásticas de la mesa en la que va a rebotar, y que todos estos datos son elaborados en tiempo real por un computador que susurra la respuesta de sus cálculos a uno de los jugadores, ¿se aceptaría como juego de azar? ¡No se ofrecerían dudas de que la ignorancia no fuera igual para todos! ¡Además, la caída sobre cara o cruz se entiende que son las únicas posibilidades! ¡No va a caer de canto! Depende de lo gruesa que sea la moneda. Si su grosor es, por ejemplo, veinte veces su diámetro, lo más probable será que caiga de canto y lo raro sería que caiga sobre una de las bases del cilindro.

Schrödinger intentó, y lo consiguió, describir la realidad cuántica en términos de probabilidad. No era esto totalmente nuevo en Física. La Física estadística formula leyes termodinámicas macroscópicas a partir del conocimiento de las leyes que rigen el choque de moléculas individuales. Pero establecer en base probabilística las características del mundo macroscópico es otra cuestión. Ya él mismo decía en 1952: “Nosotros nunca realizamos experimentos con un solo electrón o átomo, o con una

molécula pequeña. En los experimentos imaginarios que, a veces imaginamos hacer, esto comporta inexorablemente consecuencias ridículas".

El momento ha llegado con los recientemente galardonados Haroche y Wineland de trabajar en el laboratorio con un número muy reducido de partículas del macrocosmos. Es pronto para predecir las consecuencias que esto pueda tener. Se piensa en aplicaciones. Quizá alguien imagine su impacto en la producción o la economía. Prefiero quedarme en el plano puramente teórico y conceptual con unos esquemas de pensamiento que nos permitan imaginar en el mundo cuántico, sin que se nos ofrezca como algo artificial y ridículo, o contrario al sentido común. Y, sobre todo, que nos lleve a exclamar con admiración: "*Deus est magnus in magnis maximus in minimis*". Dios es grande en las cosas grandes, grandísimo en las cosas pequeñas.

Premio Nobel de Química 2012

RECEPTORES Y EL LENGUAJE DE COMUNICACIÓN ENTRE CÉLULAS

Federico Mayor Menéndez



Robert J. Lefkowitz



Brian Kobilka

El premio Nobel de Química 2012 ha reconocido los fundamentales estudios de los investigadores estadounidenses Robert J. Lefkowitz y Brian Kobilka en la identificación y mecanismos de acción de los “receptores acoplados a proteínas G” (conocidos en el ámbito científico como GPCR, por las siglas correspondientes a “G protein-coupled receptors” en idioma inglés), de amplísimo impacto fisiopatológico y farmacológico. Desde un punto de vista personal, el Nobel de este año ha supuesto una gran satisfacción, por su relación con mi área de investigación y porque conozco muy directamente a los dos premiados, desde que fui discípulo del profesor Lefkowitz durante mi estancia en Duke University (Carolina del Norte) en los años 1985-1986, periodo en el que Brian Kobilka también formaba parte de su laboratorio.

■ **Comunicación celular, receptores y capacidad de respuesta a cambios en el entorno**

La superfamilia de receptores acoplados a proteínas G constituye un elemento central en las redes de señalización celular, por las que se transfiere información bio-

lógica del entorno, y cuyo conocimiento es esencial para entender el funcionamiento de los seres vivos y en particular de los organismos multicelulares. Así, los organismos unicelulares necesitan distinguir los nutrientes que se encuentran en su cercanía, y regular sus procesos metabólicos de acuerdo con esas disponibilidades. En el caso de las células de los organismos multicelulares, es preciso que integren la información procedente de las células vecinas y del conjunto del organismo, para tomar decisiones tales como reproducirse, especializarse, moverse a otro sitio o morir, para coordinar la organización en tejidos, el metabolismo, la migración de las células o la propia percepción sensorial.

El advenimiento de organismos multicelulares durante el proceso evolutivo precisó del desarrollo de nuevos sistemas de control de la actividad celular, para asegurarse de que la puesta en marcha de respuestas celulares se coordinase de tal manera que todas las células implicadas en un proceso biológico reaccionasen al unísono durante el desarrollo embrionario o ante respuestas fisiológicas. La solución evolutiva a estas necesidades de “socialización” celular fue el desarrollo de un “lenguaje” muy elaborado de comunicación, capaz no solo de captar las señales externas (particularmente a través de los sistemas de percepción sensorial como la vista o el olfato), sino de integrar la información procedente de las células vecinas y del conjunto del organismo, mediante el establecimiento de rutas complejas de señalización que coordinasen y ejecutasen las respuestas celulares ante cambios ambientales, metabólicos o patogénicos del organismo. A nivel molecular, los sistemas de señalización celular y de control de la expresión génica controlan el flujo de información desde el DNA al RNA, y de este a proteínas (en los procesos de transcripción y traducción, respectivamente) y, en niveles de integración superior, regulan dinámicamente el interactoma (las múltiples redes de interacciones que establecen las proteínas y que sustentan las funciones celulares) y la función fisiológica integrada en el organismo global, resultado de la coordinación de todas esas funciones celulares, lo que se ha llamado “fisioloma” (figura 1).

La extraordinaria tarea de estos procesos de coordinación de la actividad celular resulta evidente si se considera que un ser humano adulto consta de aproximadamente 80-100 millones de millones de células, de unos 300 tipos celulares distintos, agrupadas en distintos tejidos y órganos, formando entre sí una intrincada red de conexiones funcionales.

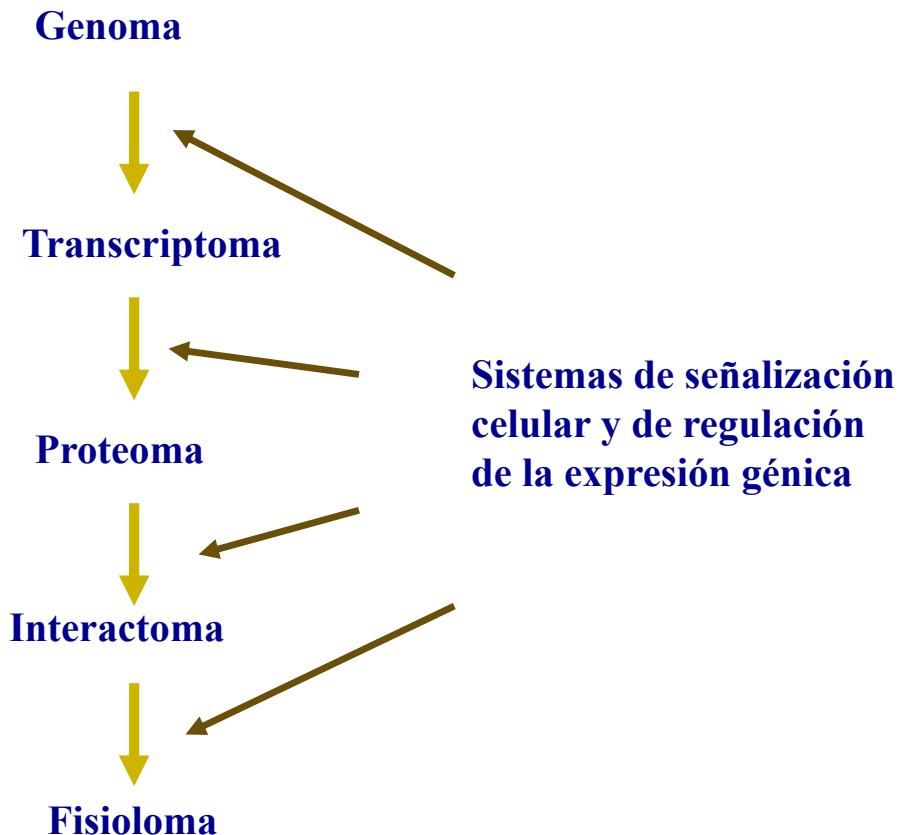


Figura 1. La transmisión de la información genética y las interacciones entre proteínas y entre células en las que se basa el funcionamiento de los organismos están directamente controladas por los sistemas de señalización celular.

■ Los GPCR como la familia de receptores más extendida y versátil

Los sistemas de señalización son extraordinariamente complejos, asemejándose a complicadas redes o circuitos con múltiples elementos de intersección y control. En general, estos sistemas se basan en la existencia de moléculas (denominadas mensajeros, hormonas, neurotransmisores, o mediadores químicos locales, según su origen celular, forma de liberación, y función) que llevan “órdenes” solo a aquellas células que poseen receptores específicos para reconocer a esa molécula.

Los receptores tienen la capacidad de actuar como detectores de señales y de transformar ese acto de reconocimiento molecular en una señal intracelular (denominada “segundo mensajero”). Los segundos mensajeros, ya desde dentro de la célula, modifican la actividad, localización o interacciones entre proteínas celulares (controlando así el metabolismo, o la función del citoesqueleto, por ejemplo) y también regulan la expresión génica, promoviendo una respuesta celular específica e integrada (figura 2). Por tanto, los sistemas de señalización celular están normalmente organizados en etapas secuenciales de detección, transformación, amplificación y diseminación de la señal, que son un poderoso instrumento para el control de las principales funciones celulares. Es importante recordar que estos sistemas, para ser eficaces, tienen que funcionar de forma transitoria y controlada de tal forma que solo persista la señal mientras lo haga el mensajero. Por tanto, tienen que existir además procesos de terminación, adaptación e integración que aseguren en todo momento su activación y desactivación controlada.

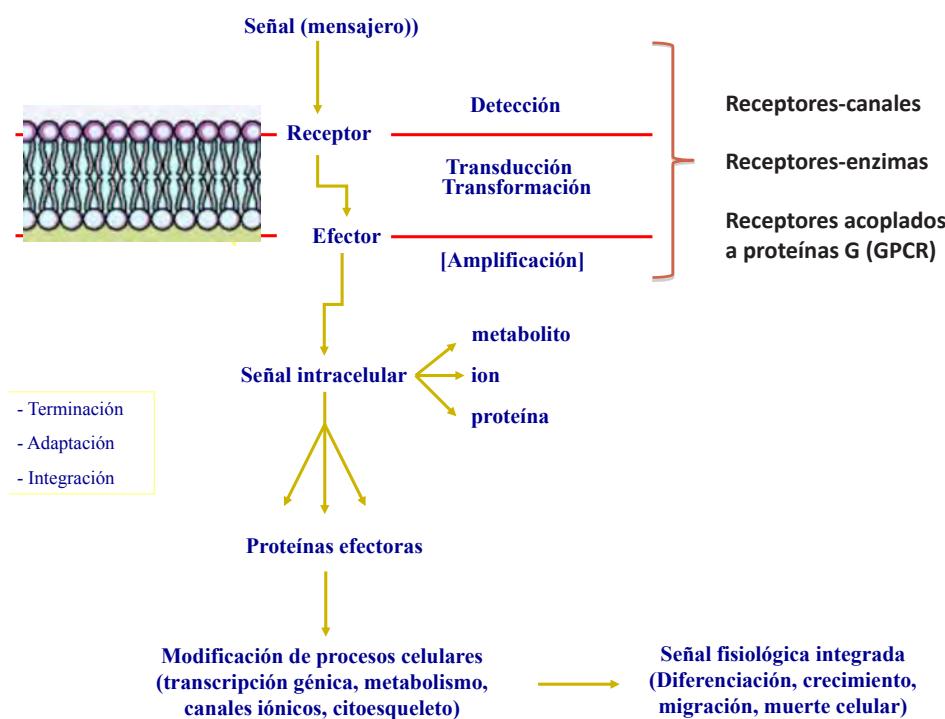


Figura 2. Organización de las cascadas de señalización controladas por receptores situados en la membrana plasmática.

La mayoría de los mensajeros se unen a receptores situados en la membrana plasmática de las células diana. Se distinguen tres grandes clases de receptores, definidos por su “estrategia” para transformar la señal extracelular en una intracelular (figura 2):

- a) Receptores acoplados a canales iónicos. Son proteínas de membrana que dejan pasar iones a través de ellas solo si está presente el mensajero en la parte extracelular. Estos receptores actúan como “compuertas” que se abren transitoriamente dejando pasar calcio, sodio o cloruro (dependiendo del receptor) a favor de su gradiente electroquímico. Este tipo de receptores (constituidos por varias subunidades de proteínas transmembrana) son especialmente abundantes en células excitables caracterizadas por una gran rapidez de respuesta, como las neuronas o las células musculares.
- b) Receptores con actividad enzimática propia. Son en general proteínas con una región transmembrana que presentan un sitio de unión del mensajero situado en el exterior de la célula y una zona con actividad enzimática (sitio catalítico) en el interior. La unión del mensajero provoca cambios en el receptor que resultan en la estimulación de su actividad catalítica. Muy frecuentemente esa actividad es de tipo quinasa, es decir, provoca la fosforilación en un residuo de tirosina, de serina o de treonina de la propia proteína receptora y de otras proteínas celulares, modificando transitoriamente su función. Muchos mensajeros de tipo peptídico, como la insulina, y muchos factores que controlan el crecimiento de las células, utilizan este tipo de receptores.
- c) Receptores acoplados a proteínas G. En este último tipo de transducción participan 3 proteínas de membrana distintas: el receptor (que es en este caso una proteína de 7 dominios transmembrana), las denominadas proteínas G (situadas en la periferia interna de la membrana plasmática) y otra proteína efectora o amplificadora. Entre estas proteínas efectoras se encuentran la adenilil-ciclase (que produce el segundo mensajero denominado AMP cíclico a partir del ATP celular), fosfolipasas (que “liberan” segundos mensajeros “almacenados” en forma de lípidos en la membrana), o canales para diversos iones. Este sistema de señalización ha tenido un gran “éxito evolutivo”, ya que es la familia de receptores más extensa, más ubicua y más versátil. Los humanos tenemos casi mil receptores de esta familia en nuestro genoma capaces de reconocer específicamente a un repertorio extremadamente variado de estímulos, desde fotones en la retina a múltiples aromas en el epitelio olfativo, pasando por receptores para aminas biogénas, aminoácidos, derivados lipídicos, péptidos y proteínas en

múltiples tejidos, que controlan múltiples aspectos de la función celular y de la homeostasis del organismo.

Las proteínas G son interruptores moleculares que se activan transitoriamente. Estas proteínas pueden encontrarse en dos conformaciones espaciales diferentes: una forma inactiva, cuando unen al nucleótido GDP, y otra forma activada capaz de unirse con otras proteínas celulares denominadas efectoras, cuando unen al GTP. Pero esta activación es intrínsecamente transitoria, ya que estas proteínas son GTPasas, es decir, destruyen al cabo de un breve tiempo el GTP transformándolo de nuevo en GDP, y vuelven así a su estado basal. Tanto el encendido (intercambio de GDP por GTP) como el apagado (hidrólisis de GTP) de este interruptor molecular se puede modular por su interacción con otras proteínas. Hoy sabemos que cuando los GPCR reconocen a su mensajero (por ejemplo, el receptor de adrenalina a la adrenalina), cambian su conformación y pueden entonces interaccionar con una proteína G de tipo heterotrimérico unida a GDP, lo que a su vez promueve el intercambio de GTP por GDP. La proteína G en su estado activo interacciona con efectores (como la adenilil-ciclasa) modificando parámetros intracelulares que diseminan la señal extracelular. Las subunidades G beta-gamma que se liberan simultáneamente pueden también actuar sobre diversos efectores celulares (figura 3). Posteriormente, la proteína G hidroliza GTP a GDP (en un proceso que puede ser activado por familias de proteínas estimuladoras de la actividad GTPasa, denominadas GAP o RGS) y el sistema vuelve a su conformación basal. Solo si sigue habiendo mensajero en el exterior de la célula se repetirá el ciclo de activación y desactivación.

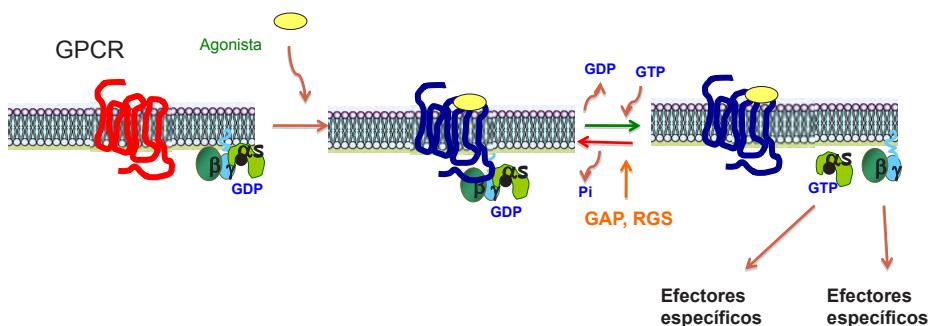


Figura 3. Señalización mediada por receptores acoplados a proteínas G. La llegada del agonista promueve la interacción del receptor con la proteína G y el intercambio de GDP por GTP, lo que a su vez conduce a la disociación de las subunidades de la proteína G heterotrimérica, que pueden entonces interaccionar con efectores específicos y controlar una gran variedad de procesos celulares básicos, la percepción sensorial y diversos aspectos de la homeostasis del organismo. La activación de las proteínas G es transitoria, ya que su capacidad GTPasa vuelve el sistema a su situación basal.

Los GPCR son también muy relevantes por sus implicaciones fisiopatológicas y en farmacología. En muchas enfermedades se encuentran alterados los niveles de mensajeros y/o las rutas de señalización que controlan GPCR. Por ejemplo, en patologías cardiovasculares existen aumentos en los niveles de mensajeros como catecolaminas, angiotensina o endotelina, que alteran a su vez el normal funcionamiento y crecimiento de tipos celulares cardiovasculares, y pueden conducir a hipertrofia cardíaca y a fallo cardíaco. La gran capacidad de control de las funciones celulares de los GPCR puede aprovecharse para modificarla de la forma más eficaz y específica posible. Así, pueden seleccionarse o diseñarse compuestos químicos capaces de unirse con gran afinidad a los mismos receptores que nuestros mensajeros internos, consiguiendo así mimetizar (agonistas) o impedir (antagonistas) su acción. Por ejemplo, agonistas de receptores beta2-adrenérgicos son eficaces broncodilatadores y se utilizan para tratar el asma; antagonistas beta1-adrenérgicos se utilizan para el tratamiento de la hipertensión; antagonistas del receptor H2 de la histamina inhiben la excesiva secreción gástrica; agonistas de receptores de opiáceos, como la morfina, se utilizan como analgésicos, etc.

■ El concepto de receptor y su evolución

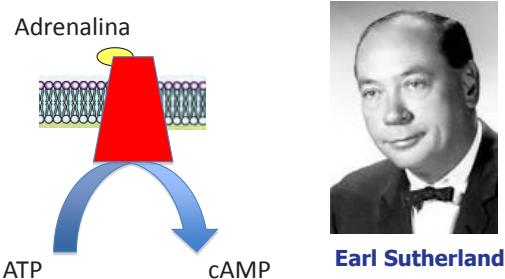
El concepto de receptores como elementos sensores del entorno se remonta a Paul Ehrlich en el año 1903, cuando se avanzó la idea de que las sustancias biológicamente activas podrían unirse a sitios específicos en las superficies de las células. Posteriormente, en la primera década del siglo XX, J.N. Langley y su estudiante Henry Dale fueron los primeros en proponer explícitamente la idea de una sustancia receptora en las células capaz de responder a estímulos, basados en experimentos clásicos de fisiología y farmacología. Sin embargo, la naturaleza físico-química de estos receptores era desconocida. En la década de 1940, el farmacólogo Raymond Ahlquist, examinando las diferentes reacciones de órganos a la adrenalina y sustancias químicas relacionadas, introdujo el concepto de la existencia de subtipos de receptores adrenérgicos, unos cuyo efecto principal es la contracción de células de músculo liso vascular (receptores alfa-adrenérgicos) y otros que estimulan la contracción cardíaca (beta-adrenérgicos).

Posteriormente, científicos como James Black (Premio Nobel de Fisiología o Medicina en el año 1988) desarrollaron sustancias capaces de interferir con la acción de la adrenalina y la noradrenalina en el corazón, los denominados fármacos beta-bloquean-

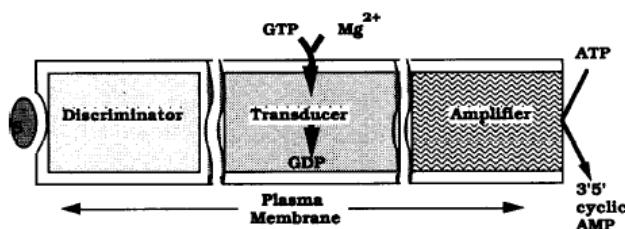
tes, que tuvieron una extraordinaria repercusión en el tratamiento de la enfermedad coronaria y la hipertensión.

A pesar de estos importantes progresos, a principios de los años 1960 existía todavía un conocimiento muy escaso de las características moleculares de los receptores y de los mecanismos de transmisión de la señal. En esta década se produjo un avance conceptual crítico, la teoría del segundo mensajero sugerida por Earl Sutherland (que obtuvo el Premio Nobel en el año 1971). Sutherland estudiaba los mecanismos por los que la adrenalina regula la degradación de glucógeno a glucosa en el hígado. Más adelante descubrió que para promover este efecto la adrenalina no entra en la célula, sino que estimulaba la síntesis, en el otro lado de la membrana, de AMP cíclico (AMPc), tras la activación de una enzima la adenilil-ciclasa. El AMPc actúa entonces como “segundo mensajero” transmitiendo la señal a proteínas intracelulares mediante la activación de una proteína quinasa dependiente de este nucleótido cíclico. En el marco de la teoría de la regulación alostérica que habían propuesto Monod, Changeux y Jacob, una hipótesis muy atractiva era que la adenilil-ciclasa fuese una enzima alostérica de membrana con dos sitios diferentes, uno receptor en el exterior y otro catalítico en el interior de la célula (figura 4). Sin embargo, los científicos estadounidenses Martin Rodbell y Alfred Gilman demostraron en la década de los 70 y principios de los 80 del siglo pasado que la realidad era más compleja, y que la actividad adenilil-ciclasa requería la presencia e hidrólisis de GTP, y que existían unas proteínas transductoras, denominadas proteínas G, que actuaban como intermediarios entre el reconocimiento de la adrenalina por su receptor y la estimulación de la actividad adenilil-ciclasa. Estos científicos compartieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en el año 1994.

En este contexto es en el que el trabajo de Robert Lefkowitz dio un impulso decisivo al entendimiento de la naturaleza y mecanismo de acción de los receptores de adrenalina. Lefkowitz, nacido en el año 1943 en el barrio de Bronx en Nueva York, se había formado como cardiólogo en la Universidad de Columbia y había realizado, tras un periodo de actividad clínica, una estancia postdoctoral en los Institutos Nacionales de la Salud trabajando en la identificación de las acciones de la hormona ACTH utilizando ensayos de radioligandos. Sin embargo, cuando se estableció en la Universidad de Duke como investigador independiente en el año 1973, centró sus esfuerzos en los receptores beta-adrenérgicos, quizás por su formación como cardiólogo y unido al hecho de que su padre había fallecido recientemente a causa de una patología cardíaca. Durante los siguientes años, el laboratorio de Lefkowitz desarrolló una serie de técnicas que fueron esenciales para demostrar la existencia de los receptores como entidades moleculares diferenciadas, su cuantificación, y posterior purificación. La utiliza-



**Concepto de segundo mensajero
(Premio Nobel 1971)**



Alfred Gilman



Martin Rodbell

La actividad adenilil-ciclasa requiere la presencia e hidrólisis de GTP, y la participación de proteínas G



**Proteínas G
(Premio Nobel 1994)**

Figura 4. Paradigma de la activación de la adenilil-ciclasa por adrenalina. Contribuciones de Sutherland y de Rodbell y Gilman.

ción de ligandos del receptor beta-adrenérgico marcados radioactivamente permitió la detección y cuantificación del receptor en las membranas celulares. Posteriormente, los ensayos de unión de ligando en diferentes condiciones experimentales permitieron identificar interacciones allostéricas complejas entre los receptores y las proteínas G. Así, la afinidad de los ligandos por el receptor beta-adrenérgico podía modularse por la presencia de GTP, mientras que la presencia de un agonista aumentaba la interacción entre el receptor y la proteína G. Estos experimentos llevaron a Lefkowitz a proponer el denominado “modelo del complejo ternario”, en el que el receptor activado unido a la proteína G constituía el elemento estimulador de la actividad adenilil-ciclasa.

Con alguna excepción, como es el caso de la rodopsina en la retina, los receptores de membrana se encuentran generalmente en muy pequeñas concentraciones, lo que dificulta mucho su aislamiento y purificación. Gracias a la utilización de detergentes

como la digitonina, Marc Caron y Lefkowitz consiguieron solubilizar un receptor funcional en el año 1976. A continuación Caron desarrolló métodos de cromatografía de afinidad basados en el antagonista beta-adrenérgico alprenolol, que permitieron la purificación de los receptores a principios de los años 80. La disponibilidad del receptor purificado permitió a Lefkowitz hacer un experimento conceptualmente crítico: la reconstitución funcional de receptores purificados, proteínas G purificadas y la actividad catalítica de la adenilil-ciclasa, demostrando definitivamente que el mecanismo de transmisión de la señal de adrenalina incluía tres entidades moleculares diferentes (figura 5).

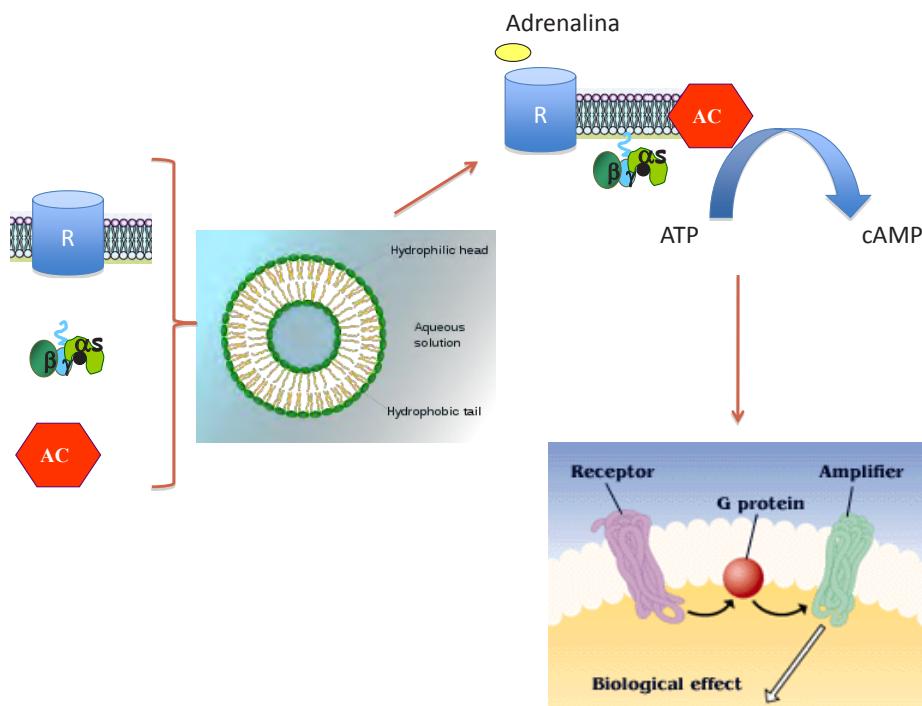


Figura 5. Contribuciones esenciales del laboratorio de Lefkowitz a los mecanismos de activación de la adenilil-ciclasa. La reconstitución del receptor de adrenalina purificado, proteínas G y la actividad catalítica de la adenilil-ciclasa demostró definitivamente la participación de tres entidades moleculares diferentes en el mecanismo de transmisión de señal de la adrenalina.

■ El nacimiento de una familia de receptores de membrana

El propio Lefkowitz ha recordado en entrevistas realizadas en los últimos años que 1986 marcó un punto de inflexión crítico en su investigación. En efecto, en-

tonces se dió el paso decisivo de identificar el gen que codificaba para el receptor beta-adrenérgico, lo que permitió también conocer la secuencia y características de los aproximadamente 400 aminoácidos que componen esa proteína. Ese proyecto lo lideraba en su laboratorio un postdoctoral de extraordinaria perseverancia y talento, llamado Brian Kobilka. Este investigador, nacido en Little Falls (Minnesota) en 1955 y formado también como médico cardiólogo en la Universidad de Yale, se había incorporado como postdoctoral en la Universidad de Duke en el año 1984. La disponibilidad de receptor beta-2-adrenérgico purificado permitió intentar el clonaje del gen y cDNA de este receptor utilizando técnicas que partían de su microsecuenciación peptídica. Después de varios años de esfuerzo, el grupo de Kobilka y Lefkowitz consiguió publicar la secuencia completa del receptor beta-2 adrenérgico de hámster en el número de la revista *Nature* de mayo de 1986. Sorprendentemente, el receptor de la adrenalina presentaba notables similitudes con el receptor de la luz (la rodopsina), en el sentido de que ambos parecían presentar siete tramos de aminoácidos capaces de atravesar la membrana celular.

Al mismo tiempo, el laboratorio de Lefkowitz también descubrió que los mecanismos de regulación del receptor de adrenalina eran muy parecidos a los de la rodopsina de la retina. Se había descrito que en presencia de luz la rodopsina activada se fosforilaba en su dominio intracelular por una enzima denominada rodopsina quinasa, lo que promovía su desensibilización. También en 1986, Benovic, Mayor, Caron y Lefkowitz publicaron un artículo en *Nature* en el que identificaban que una quinasa similar, denominada quinasa del receptor beta-adrenérgico (bARK por sus siglas en inglés) era capaz de fosforilar al receptor beta-2 adrenérgico en respuesta a adrenalina, y también a la rodopsina en respuesta a la presencia de luz (figura 6). Se vislumbraba, por tanto, la emergencia de una “familia” de receptores para estímulos externos muy diversos, pero que conservaba unos rasgos estructurales, de funcionamiento y de regulación común: estaba naciendo lo que luego resultó ser la gran familia de receptores acoplados a proteínas G (GPCR), también llamados por sus características estructurales receptores de siete dominios transmembrana, o receptores “serpentina”.

En los siguientes años, el clonaje por el laboratorio de Lefkowitz de diversos subtipos de receptores adrenérgicos y de un receptor muscarínico de acetil-colina por el grupo de Numa corroboró la idea de la existencia de una gran familia de receptores relacionados estructural y funcionalmente. También el grupo de Lefkowitz, con especial protagonismo de su colaborador J.L. Benovic, desarrolló a finales de la década de 1980 y en la década de 1990 la caracterización en detalle de los mecanismos de regulación de los GPCR por las proteínas GRK y arrestinas, abriendo

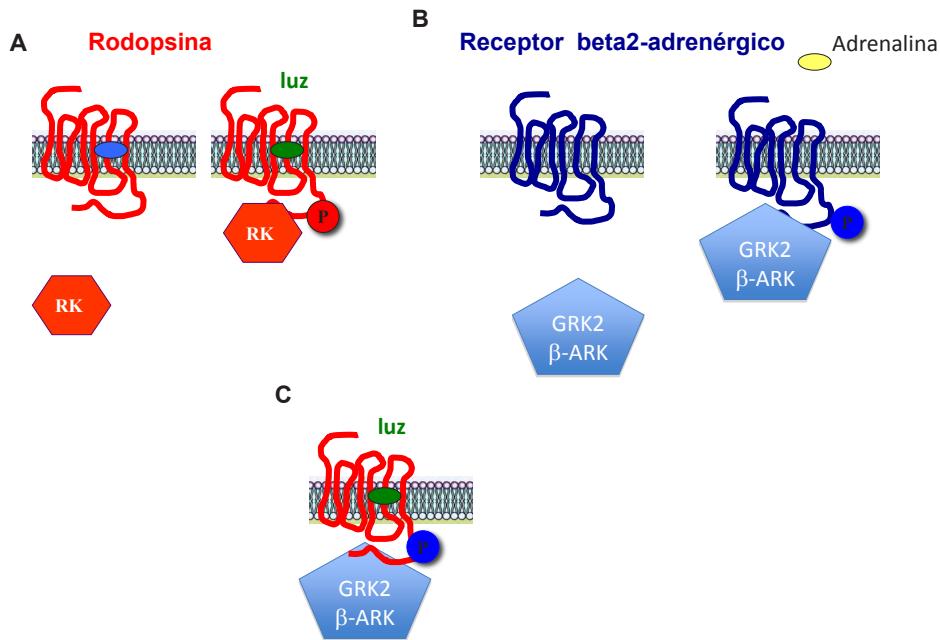


Figura 6. Similitud entre los mecanismos de regulación por fosforilación de la rodopsina y del receptor beta-2 adrenérgico promovidos por la presencia de agonistas.

nuevas perspectivas sobre el funcionamiento y los mecanismos de señalización de esta familia de proteínas.

■ La estructura íntima de los receptores acoplados a proteínas G

A pesar del inmenso progreso que suponían estos nuevos avances, persistían algunas preguntas clave: ¿cómo y dónde se unen los ligandos de los GPCR de forma específica?; ¿cómo se transmite la señal y se promueve la activación de las proteínas G? La respuesta a estas preguntas requirió de nuevos experimentos bioquímicos y biofísicos y, muy particularmente, precisaba dilucidar la estructura cristalina de estos receptores.

Tras trasladarse a la Universidad de Stanford (California) en 1989, Brian Kobilka se propuso un reto que tardó casi 20 años en alcanzar: determinar la estructura en el espacio de esos receptores. Este proyecto presentaba algunos retos muy difíciles de resolver: los GPCR son proteínas de membrana de poca abundancia relativa y son proteí-

nas muy dinámicas, capaces de adoptar diversas conformaciones, así como altamente inestables en detergentes, presentando poca exposición de superficies hidrofílicas. Todo ello suponía un auténtico reto a la hora de intentar su cristalización. Para hacer frente a estas dificultades, el grupo de Brian Kobilka en colaboración con investigadores como Gebhard Schertler y Raymond Stevens desarrollaron diversas soluciones alternativas que incluyeron el desarrollo de sistemas de expresión de alto rendimiento, la utilización de nuevos detergentes, la co-cristalización de receptores con antagonistas o agonistas inversos capaces de estabilizar conformaciones específicas del receptor; el incremento del área hidrofílica de los receptores para facilitar la cristalización, etc. Todo ello permitió publicar en el año 2007 la primera estructura del receptor beta2-adrenérgico unido al antagonista carazolol. Este avance facilitó también la comparación detallada con las estructuras tridimensionales de la rodopsina que, gracias a su mayor abundancia y facilidad de purificación, se habían obtenido por diversos autores, particularmente Krzysztof Palczewski y Okada alrededor del año 2000.

Estos progresos en la “ingeniería” de los GPCR y su cristalográfia han permitido un avance acelerado en los últimos años en el conocimiento de nuevas estructuras. A finales del año 2012 se habían obtenido 16 estructuras de GPCR, 9 de ellas publicadas en el propio año 2012. Entre estas estructuras se incluyen las de los receptores beta-1 adrenérgicos, muscarínicos tipo M2 y M3, el receptor H1 de histamina, el receptor D3 de dopamina, el receptor tipo A2a de adenosina, el receptor de esfingosina 1 fosfato S1P1, el receptor de quimioquinas CXCR4, tres subtipos de receptores de opiáceos (OPRK1, OPRM1, OPRD1), el receptor de nociceptina OPRL1, así como receptores de neuropeptida Y y el receptor de proteasas PAR1. Además, algunos de ellos han sido co-cristalizados en complejo con diferentes ligandos, lo que ha permitido investigar los cambios conformacionales relacionados con la unión de diversos compuestos químicos.

La obtención de estas diversas estructuras ha permitido conocer con precisión los dominios de receptores implicados en la interacción con sus ligandos específicos y las similitudes y diversidades estructurales presentes en los dominios extracelulares, transmembrana, e intracelular de los diversos GPCR.

La última frontera en este conocimiento de la estructura tridimensional de los receptores ha sido la identificación de los cambios estructurales que tienen lugar tras la activación del receptor y que conducen a la estimulación de las proteínas G. Para ello una vez más ha sido decisiva la aportación de Brian Kobilka, publicada en dos artículos sucesivos en la revista *Nature* el 29 de septiembre del año 2011. En estos trabajos,

su grupo describió la cristalización de un receptor beta-2 adrenérgico activado por agonista en complejo con la proteína Gs. Experimentos de una gran complejidad técnica, que incluyen la ingeniería de estas proteínas para favorecer la estabilización de ese complejo, han permitido identificar las superficies de interacción y los principales cambios estructurales que tienen lugar en las diversas proteínas del complejo (figura 7). En el caso del receptor beta-2 adrenérgico, el cambio conformacional inducido por agonistas permite la separación de los bucles intracelulares 2 y 3 de la estructura del receptor y la creación de un “bolsillo” hidrofóbico donde puede unirse la proteína Gs (figura 8), lo que permite a su vez cambios importantes en la estructura de la proteínas G que facilitan la liberación de GDP y el consiguiente paso de la proteína G a su estado activo. En definitiva, todos estos estudios están permitiendo obtener información muy relevante sobre las distintas conformaciones activas de los GPCR y sobre cómo son capaces de transmitir información al interior de la célula. El concepto general que parece emerger es que la familia de receptores de 7 dominios transmembrana tendría una arquitectura general modular, compuesta por un módulo de unión de ligandos y otro módulo de señalización hacia el interior celular (figura 9). El módulo de unión de ligandos, formado por los bucles extracelulares del receptor y la parte más externa de sus dominios transmembrana, presenta la mayor diversidad entre los distintos recep-

Receptor beta2-adrenérgico

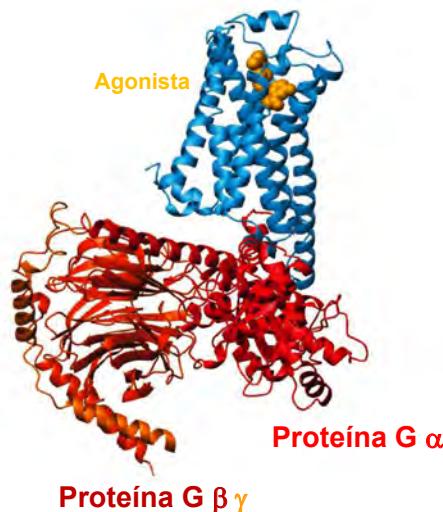


Figura 7. Estructura tridimensional del receptor beta-2 adrenérgico. Los trabajos de Kobilka han permitido cristalizar el receptor beta-2-adrenérgico activado por agonista en complejo con la proteína G e identificar las principales superficies de interacción entre estas proteínas (esquema modificado de www.nobel.org).

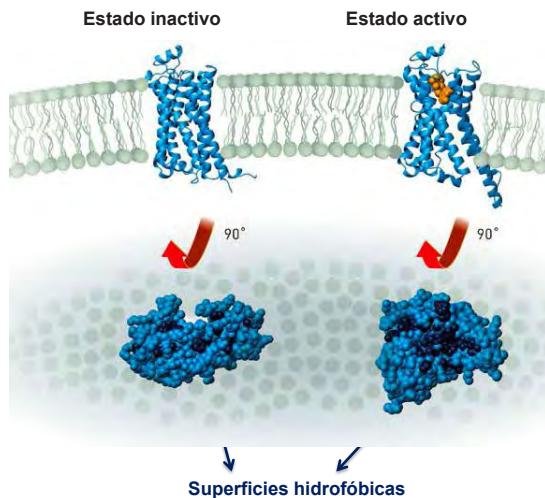


Figura 8. Cambios promovidos tras la activación del receptor. En el esquema se muestran los principales cambios conformatacionales promovidos por agonistas, que conducen a un aumento de las superficies hidrofóbicas que se ofrecen a las proteínas G en el interior de la célula (esquema modificado de www.nobel.org).

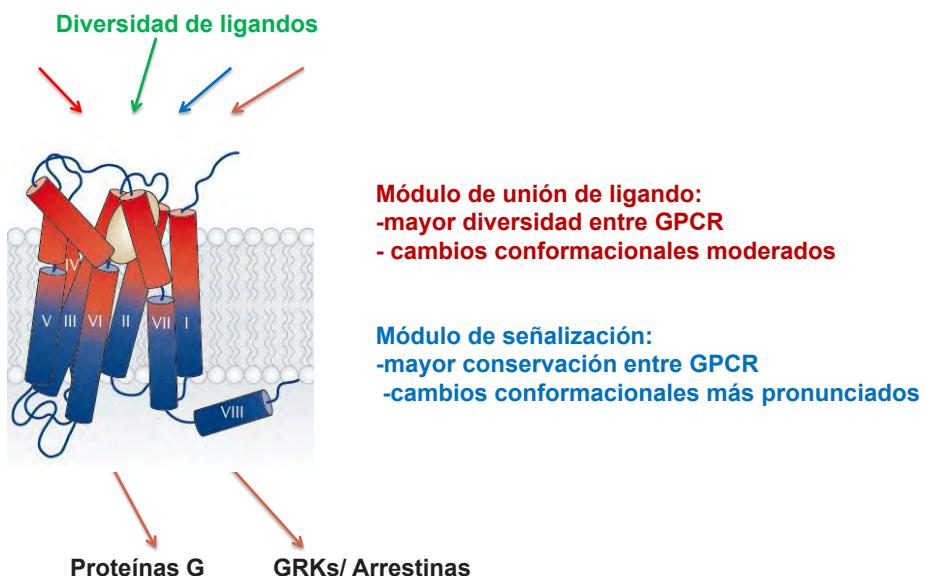


Figura 9. Arquitectura modular de la familia de receptores acoplados a proteínas G. Los GPCR se estructuran en dos módulos con distintos grados de divergencia de secuencia y de movilidad conformatacional (esquema inspirado en la revisión de Katritch y cols. (2012)).

tores GPCR (lo que permitiría explicar su interacción específica con múltiples ligandos diferentes) y sufre cambios conformacionales menos acusados en presencia de agonistas. Por el contrario, el módulo de señalización hacia el interior de la célula, formado por la parte más interna de los dominios transmembrana y por los bucles intracelulares del receptor, presenta menor diversidad entre las subfamilias de GPCR y sufre cambios conformacionales muy evidentes tras la llegada de los ligandos, permitiendo así la transmisión de la señal al interior de la célula. El hecho de que este último módulo sea más conservado es también coherente con el hecho de que 800 receptores para sustancias diferentes puedan converger en la interacción con las mismas proteínas G, o ser regulados por las mismas familias de quinasas GRK y de arrestinas.

■ Perspectivas futuras

La concesión del Nobel de Química a Lefkowitz y Kobilka completa justamente el reconocimiento que en años precedentes se había ido otorgando a los otros descubridores de pautas esenciales de este lenguaje de comunicación celular (Earl Sutherland, premio Nobel 1971 por identificar por primera vez el AMPc como segundo mensajero, y Al Gilman y Martin Rodbell, premio Nobel 1994 por su descubrimiento de las proteínas G). Sin embargo, hay todavía muchos interrogantes abiertos en este campo. Entre ellos cabe destacar las nuevas vías de señalización de receptores de 7 dominios transmembrana consecuencia de su interacción con las proteínas GRK y arrestinas. Estas proteínas no solamente actuarían como reguladores negativos del acoplamiento de los GPCR a las proteínas G (que es como fueron identificados), sino que presentan complejos interactomas que les permiten también participar en la propagación de la señal de estos receptores tras la llegada de un agonista. Esta divergencia de señalización de los receptores de 7 dominios transmembrana entre vías dependientes de proteínas G y otras cascadas dependientes de GRK y arrestinas ha llevado también a la identificación de los que se ha denominado *“biased ligands”*, sustancias químicas que de manera preferente inducen la interacción del receptor, bien con proteínas G, bien con GRK/arrestinas, lo que puede tener un gran interés para el desarrollo de nuevos fármacos. En este mismo sentido, el mejor conocimiento de los “bolsillos” de unión de ligandos a los GPCR facilitará el diseño de nuevos compuestos químicos con mayor afinidad y/o selectividad. Por último, la secuenciación del genoma humano ha puesto de manifiesto la presencia en nuestra información genética de múltiples miembros de la familia de receptores, 7 dominios transmembrana sin mensajero fisiológico conocido (los denominados GPCR huérfanos), lo que presenta el importante reto de identificar sus ligandos endógenos y sus funciones fisiológicas e implicaciones patológicas.

En definitiva, el camino abierto por Lefkowitz y Kobilka, seguido actualmente por muchísimos otros investigadores, permitirá seguir conociendo mejor las alteraciones de receptores en situaciones patológicas y avanzar en el diseño de nuevas estrategias terapéuticas.

■ Bibliografía

- Ahlquist, R.P. (1973). "Adrenergic receptors: a personal and practical view". *Perspect Biol Med* 17, 119-122.
- Benovic, J.L.; F. Mayor, Jr., *et al.* (1986). "Light-dependent phosphorylation of rhodopsin by beta-adrenergic receptor kinase". *Nature* 321, 869-872.
- Caron, M.G.; Lefkowitz, R.J. (1976). "Solubilization and characterization of the beta-adrenergic receptor binding sites of frog erythrocytes". *J. Biol Chem* 251, 2374-2384.
- Cherezov, V.; Rosenbaum, D.M. *et al.* (2007). "High-resolution crystal structure of an engineered human beta2-adrenergic G protein-coupled receptor". *Science* 318, 1258-1265.
- Chung, K.Y.; Rasmussen, S.G. *et al.* (2011). "Conformational changes in the G protein Gs induced by the beta2 adrenergic receptor". *Nature* 477, 611-615.
- De Lean, A.; Stadel, J.M. *et al.* (1980). "A ternary complex model explains the agonist-specific binding properties of the adenylate cyclase-coupled beta-adrenergic receptor". *J. Biol Chem* 255, 7108-7117.
- Dixon, R.A.; Kobilka, B.K. *et al.* (1986). "Cloning of the gene and cDNA for mammalian beta-adrenergic receptor and homology with rhodopsin". *Nature* 321, 75-79.
- Katritch, V.; Cherezov, V. *et al.* (2012). "Diversity and modularity of G protein-coupled receptor structures". *Trends Pharmacol Sci* 33, 17-27.
- Katritch, V.; Cherezov, V. *et al.* (2013). "Structure-function of the G protein-coupled receptor superfamily". *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 53, 531-556.

- Lagerstrom, M.C.; Schioth H.B. (2008). "Structural diversity of G protein-coupled receptors and significance for drug discovery". *Nat Rev Drug Discov* 7, 339-357.
- Lefkowitz, R.J.; Shenoy, S.K. (2005). "Transduction of receptor signals by beta-arrestins". *Science* 308, 512-517.
- Lefkowitz, R.J. (2004). "Historical review: a brief history and personal retrospective of seven-transmembrane receptors". *Trends Pharmacol Sci* 25(8): 413-422.
- Lefkowitz, R.J. (2007). "Seven transmembrane receptors: a brief personal retrospective". *Biochim Biophys Acta* 1768, 748-755.
- Overington, J.P.; Al-Lazikani, B. (2006). "How many drug targets are there?" *Nat Rev Drug Discov* 5, 993-996.
- Palczewski, K.; Kumasaka, T. *et al.* (2000). "Crystal structure of rhodopsin: A G protein-coupled receptor". *Science* 289, 739-745.
- Penela, P.; Murga, C. *et al.* (2010). "The complex G protein-coupled receptor kinase 2 (GRK2) interactome unveils new physiopathological targets". *Br J. Pharmacol* 160, 821-832.
- Pierce, K.L.; Premont, R.T.; Lefkowitz, R.J. (2002). "Seven-transmembrane receptors". *Nat Rev Mol Cell Biol* 3, 639-650.
- Rall, T.W.; Sutherland, E.W. (1958). "Formation of a cyclic adenine ribonucleotide by tissue particles". *J. Biol Chem* 232, 1065-1076.
- Rasmussen, S.G.; Choi, H.J. *et al.* (2007). "Crystal structure of the human beta2 adrenergic G-protein-coupled receptor". *Nature* 450, 383-387.
- Rasmussen, S.G.; DeVree, B.T. *et al.* (2011). "Crystal structure of the beta2 adrenergic receptor-Gs protein complex". *Nature* 477, 549-555.
- Rodbell, M.; Birnbaumer, L. *et al.* (1971). "The glucagon-sensitive adenyl cyclase system in plasma membranes of rat liver. V. An obligatory role of guanylnucleotides in glucagon action". *J. Biol Chem* 246, 1877-1882.

- Ross, E. M.; Gilman A.G. (1977). "Resolution of some components of adenylate cyclase necessary for catalytic activity". *J. Biol Chem* 252, 6966-6969.
- Sprang, S.R. (1997). "G protein mechanisms: insights from structural analysis". *Annu Rev Biochem* 66, 639-678.
- Tyndall, J.D.; R. Sandilya. (2005). "GPCR agonists and antagonists in the clinic". *Med Chem* 1, 405-421.

Premio Nobel de Literatura 2012

MO YAN

Rosa Basante Pol



Mo Yan

El 11 de octubre de 2012, la Academia Sueca comunicó, en Estocolmo, que el escritor chino Mo Yan había sido galardonado con el Premio Nobel de Literatura 2012.

La concesión se fundamentaba, según ha destacado el jurado, en la importancia que supone la aportación literaria de la obra de Mo Yan en la que el autor «combina los cuentos populares, la historia y la contemporaneidad con un realismo alucinante».

La Academia Sueca confirmó que Mo Yan, al recibir, vía telefónica, la noticia en su domicilio, se ha mostrado «lleno de alegría y asustado». La recomendación de su obra *Las baladas del ajo*, novela realista, no es algo casual, tal vez es el reflejo de la China rural en la que se denuncia la denigrante situación de miseria en la que un gobierno puede con violencia oprimir a los ciudadanos mediante políticas desastrosas que les llevan a la ruina; sin embargo, la dura crítica social no impide al autor reflejar la ternura del ser humano.

Su amplia producción literaria, pero sobre todo su novela *Sorgo rojo*, cuya versión cinematográfica realizada en 1987, bajo la dirección del genial director Zhang Yimou, alcanzó un notable éxito, ha permitido a Mo Yan alcanzar una gran popularidad en su país, lo que conlleva servidumbres intelectuales a la par que compromisos políticos, o ausencia de los mismos, y este sea tal vez el lado más criticado del reciente premio Nobel. No es extraño, pues, que disidentes como Ma Jian, prohibido en China por obras como *Pekín en coma*, acusen a Mo Yan de su tolerancia y “mudez” ante un régimen autoritario cual el del Partido Comunista Chino y la falta de libertades en Pekín; presumiblemente, el significado del nombre literario Mo Yan (su verdadero nombre es Guan Moye), en idioma mandarín “abstente de hacer comentarios”, sea la justificación de los asertos precedentes.

No obstante, su mensaje es diferente, o al menos un tanto ambiguo, en función del auditorio. Así, durante un discurso pronunciado en la Universidad Abierta de Hong Kong, tal vez porque allí se respiran aires de libertad más puros que en la de Pekín, confesó ante un gran número de estudiantes que en un país como China no es bueno hablar demasiado porque no siempre son bien aceptadas las opiniones sinceras, a lo que añadiríamos que donde no hay libertad conviene ser prudente, toda una declaración de intenciones, ya dice un proverbio: “uno es dueño de sus silencios y esclavo de sus palabras”.

Respecto a su tolerancia con las autoridades chinas, además de en el antedicho y otros foros, Mo Yan no elude este tema, hablando de ello en su discurso pronunciado, el día 7 de diciembre de 2012, en Estocolmo, en el solemne acto de entrega de los premios Nobel¹:

“Cuando escribí las novelas del tipo de Las baladas del ajo, es decir, las novelas realistas, el mayor problema que se me presentó no era que tuviera miedo de enfrentarme a las oscuridades sociales y criticarlas, sino cómo controlar la pasión ardiente y la furia para no desviarme hacia la política ni alejarme de la literatura. No quiero escribir una crónica de los acontecimientos sociales. Un novelista es parte de la sociedad, por lo que es natural que tenga sus propias opiniones e ideas; sin embargo, cuando está escribiendo debe ser justo, debe respetar a todos los personajes igual que respeta a las personas reales. Siempre y cuando se cumpla este requisito, la literatura

¹ Cf. texto parte del Discurso pronunciado por Mo Yan ante los miembros de la Academia Sueca y autoridades, cuyo *copyright* es propiedad de FUNDACION NOBEL 2012

puede nacer de la realidad e incluso superarla, puede preocuparse por la política pero estar por encima de ella”.

Y es más sin menoscabo de lo antedicho, Mo Yan respalda, expresa y públicamente, en su discurso la política llevada a cabo en China en los siguientes términos:

“Tengo que confesar que si no hubiera sido por los grandes progresos y el desarrollo de la sociedad china durante estos treinta años, por la apertura y la reforma, no existiría un escritor como yo”.

Sin embargo, estas manifestaciones fueron decepcionantes para los que esperaban una mayor independencia de Mo Yan del régimen chino, pero él insiste que realidad, ficción y respeto deben ir de la mano y que la literatura ha de estar por encima de la política, algo que tras la entrega de los premios reivindicó, de nuevo, al afirmar que el compromiso político y el género literario han de estar claramente separados.

Su modo de pensar es respetable, pero es para muchos intelectuales de difícil justificación. En cualquier caso, lo cierto es que China celebra abiertamente que uno de sus ciudadanos haya sido galardonado con el premio Nobel de Literatura 2012. No es extraño dada la actitud, ya referida, de Mo Yan tolerante, o presumiblemente ambigua, con el “poder” chino, algo inusual, máxime cuando en años anteriores el premio fue concedido a ciudadanos chinos encarcelados o extrañados por su oposición al gobierno y la noticia no fue difundida ni celebrada en China.

En el año 2000, Gao Xingjian obtuvo también el Nobel de Literatura, pero ya no vivía en China, de la que se había exiliado en 1987, y no por casualidad todavía sus libros están prohibidos en este país. Sirva otro ejemplo: el disidente Liu Xiaobo, líder de los firmantes de la “Carta 08” en demanda de la democracia en su país, se enteró de que había sido galardonado con el Nobel de la Paz 2010 en la cárcel, en la que había sido recluido para cumplir la condena de 12 años que le había sido impuesta por el referido “delito”.

De igual modo, cuando el Dalai Lama recibió la noticia de que le habían concedido el Nobel de la Paz, por su lucha por la causa tibetana, ya se había exiliado a la India.

Lo mismo puede argumentarse de los científicos chinos: Tsung Dao Lee, Chen Ning Yang, Samuel C.C. Ting, Roger Y. Tsien, Yuan T. Lee, Steven Chu, Daniel C. Sui, que

cuando les fue otorgada tan prestigiosa distinción habían cambiado de nacionalidad para poder desarrollar sus investigaciones en otros países, Estados Unidos o Reino Unido preferentemente.

Este hecho está provocando que a través de las redes sociales circulen opiniones y comentarios en torno a buscar los motivos de porqué los científicos chinos residentes en este país asiático no alcanzan este galardón. ¿Es por falta de medios o por falta de libertad? Muchos se formulan demandando una respuesta, y ello, junto a otras cuestiones semejantes, está generando, en una parte importante de la sociedad china, un clima de descontento que desemboca en un aluvión de protestas, dirigidas a los dirigentes chinos, en demanda de mayor libertad y abolición de la censura cosechando apoyos de periodistas e intelectuales.

■ Apuntes para una sucinta biografía

Guan Moye nace en 1955 en el distrito Dongbei de Gaomi, pueblo de la provincia oriental de Shandong, en el seno de una familia de campesinos. Último de varios hermanos, su infancia estuvo siempre amparada por el manto protector de su madre, a la que él adoraba². Genéticamente feo, como él se describe, esta cualidad le acarreó burlas y hasta golpes que le propinaban sus compañeros ocasionalmente momentos de tristeza y más de una lágrima. La grandeza de las enseñanzas de su madre alabando la auténtica belleza, la interior, se pone de manifiesto cuando le dijo:

“Hijo, no eres feo. Eres un chico normalito, ¿cómo puedes decir que eres feo? Además, si sigues siendo un joven de buen corazón y sigues haciendo cosas buenas, aunque fueras feo de verdad, te convertirías en un chico guapo”³.

Estas enseñanzas dejaron huella contribuyendo a forjar su voluntad de tal modo que cuando alguien se burlaba de su físico el recuerdo de su madre le ayudaba a reaccionar; él mismo lo relata así en su discurso:

“Cuando me mudé a la ciudad, unas personas que habían recibido una buena educación hacían chistes tontos sobre mi cara, a veces a mis espaldas o incluso delante

² En su discurso, ya citado, cuyos derechos pertenecen a la FUNDACIÓN NOBEL, pronunciado en Estocolmo, recoge todo lo aquí expuesto.

³ Cf. Discurso pronunciado el 7 de diciembre de 2012 por Mo Yan en Estocolmo.

de mí. En aquellos momentos, las palabras de mi madre regresaban a mi cabeza, me tranquilizaban y me daba cuenta de que era yo el que tenía que pedirles perdón”.

La discreción fue algo que aprendió de sus padres. En un país con ausencia de libertad de expresión, no estaba bien visto alguien hablador que incluso podía acarrear problemas a la familia, motivo por el cual no había que provocar. Mo Yan deja constancia de ello en su relato *Toro* afirmando que esto forma parte de la historia de su pubertad.

El consejo de sus padres para que fuera un chico generoso, tranquilo y callado, chocaba con su capacidad y clara disposición para hablar, pues argumentaba que como dice un refrán chino:

“Es fácil cambiar de dinastía, es difícil modificar la personalidad” y su personalidad, su gusto por manifestar sus sentimientos o relatos, su clara predisposición para ello, no cambiaron, por ello tal vez resulta un tanto irónico que su nombre literario, Mo Yan, signifique “no hables”.

A edad temprana tuvo que abandonar la escuela. En su casa le necesitaban, no obstante su frágil salud no le permitía excesivos esfuerzos, por lo cual sus padres le dedicaron a apacentar el rebaño en un prado abandonado. Su actitud era la de un chiquillo al que le gustaba hacer otra cosa:

“En el prado solté al ganado y lo dejé pacer por su cuenta. Bajo el cielo de un color azul tan intenso que parecía un océano inacabable, en ese prado verde tan vasto que no se veían sus límites en ninguna dirección, no había nadie excepto yo y no se podía oír a nadie excepto el piar de los pájaros. Me sentía muy aislado, muy solo, como si mi espíritu se hubiese escapado y solo me quedara un cuerpo vacío. A veces me tumbaba en el prado viendo las nubes que flotaban vagamente y muchas imágenes irreales y sin sentido venían a mi cabeza”.

Su imaginación se desbordaba, la creatividad se manifiesta, el relato recogido en su discurso apelando a los cuentos de animales milenarios es de una gran belleza:

“En mi pueblo se difundían unos cuentos sobre los zorros milenarios que podían convertirse en mujeres hermosas. Por eso imaginaba que a lo mejor una de esas hermosas mujeres en la que se había convertido un zorro vendría y me acompañaría mientras cuidaba al ganado, pero ella nunca apareció. Sin embargo, hubo una vez que

vi un zorro de un llamativo color rojo saltando del arbusto que tenía frente a mí. Me caí al suelo a causa del susto. Enseguida desapareció, pero yo me quedé allí sentado y temblando durante bastante tiempo.

A pesar de todo, no le gustaba cuidar un rebaño, en él cundía el desánimo. La añoranza de la escuela, y su gran soledad, se hacía más patente al ver a sus compañeros estudiar y jugar, generándole esa conciencia de dolor que, como el mismo manifiesta, “se le puede ocasionar a una persona, incluso a un niño, cuando se le aleja de la comunidad en la que vive”.

Su adolescencia no fue menos dura. La falta de libros, el hambre o la soledad dejaron profundas huellas. En la vivienda familiar vivían 14 personas, carecían de luz eléctrica pero le gustaba tanto la lectura que por las noche leía, en la cocina, mientras su madre cocinaba utilizando la tenue luz del quinqué de petróleo; el ávido deseo de aprender le arrastraba a continuar horas y horas leyendo, por lo cual, con frecuencia, era amonestado por su madre que le recriminaba que si no paraba de leer se iban a quedar sin petróleo”⁴.

Guan Moye pertenece, tal vez, a esa generación de chinos que tuvieron que abandonar los estudios para trabajar en una fábrica durante la agitada Revolución Cultural de Mao Zedong.

Su actitud ante esta difícil situación no fue de pasividad sino de, ante la adversidad, utilizar los resortes de la inteligencia valorando y utilizando los medios a su alcance. Hizo suyas las palabras de su antepasado Laozi: “En la felicidad es donde se esconde la desgracia; en la desgracia es donde habita la felicidad”. Bebió de la vida misma y de la sociedad, observación y experiencia, que para él forman un “gran libro invisible”.

Las enseñanzas de los otros y la herencia recibida fueron su gran escuela, “leía con las orejas”, escuchaba relatos en boca de otros, ensalza a sus abuelos y lo aprendido con ellos, y se declara heredero de una figura legendaria de su pueblo: el cuentacuentos señor Songling Pu, todo un genio, el cual utiliza como fuente de inspiración más tarde para algunas de sus obras. Historia, tradición y respeto, juntas de la mano.

⁴ Cf. Pablo M. DÍEZ, ABC cultura /11/ 10/2012.

En el texto de su discurso recoge lo antedicho de este modo:

“En el campo de la comunidad, en la granja de la brigada de producción, en la cama de mis abuelos, en el tembloroso carro tirado por el buey, había escuchado muchos cuentos sobre fantasmas y duendes, muchas leyendas históricas, anécdotas interesantes que estaban estrechamente vinculadas con la naturaleza local y la historia familiar, y me habían producido una clara sensación de realidad”.

“Nunca pude imaginar que algún día en el futuro estas cosas me servirían como material para mis obras. En aquella época sólo era un chico a quien le fascinaban los cuentos y las palabras que se usaban para contarlos. En aquella época era, definitivamente, un chico teísta. Creía que todas las cosas tenían su espíritu”.

Cuando tenía 18 años, el joven Mo entró a trabajar en una fábrica, alternando este trabajo con el del campo; es decir, la mitad del tiempo era obrero, y la otra mitad, campesino. Bien es cierto que ninguna de estas tareas le gustaba, motivo por el cual quiso, en 1976, entrar en el Ejército por considerar que “Era la mejor forma de tener una buena vida”. Sin embargo se exigía un límite de edad, valladar que saltaron sin excesivo esfuerzo al cambiar la familia la fecha de nacimiento, y poner un año menos. Mo Yan lo relata afirmando que ello no era difícil porque no siempre existían partidas de nacimiento, y es la justificación de porqué “alguna gente piensa que nací en 1956”.

En 1976 comienza una nueva etapa de su vida. Tras cumplir todos los requisitos necesarios para el reclutamiento militar, abandona su pueblo natal, el distrito Dongbei de Gaomi, e ingresa en el Ejército Popular de Liberación. Muerto Mao, en septiembre de 1976, y consolidado en el poder Deng Xiaoping, hubo una tregua un tanto permisiva para la creación literaria; esta apertura de pensamiento, la llamada “Literatura de los heridos” permitió a Mo Yan escribir sus primeros relatos.

En 1981 publica su primera novela, *Lluvia en una noche de primavera*, tras la que aparecen unas cuantas más, tarea “nada fácil”, como él afirma, porque sus camaradas no veían con buenos ojos que abandonase las tareas militares por las literarias, motivo que le impulsó, para poder seguir haciendo aquello para lo que se sentía más atraído y capacitado, a intentar ingresar, en 1984, en la Facultad de Literatura de la Academia de Artes del Ejército Popular de Liberación, y lo consiguió tras superar un duro examen. A partir de este momento va a dedicar, como él mismo relata en su discurso, todos sus esfuerzos a la creación literaria:

“En el otoño de 1984 aprobé el examen de ingreso y me incorporé a la Facultad de Literatura de la Academia de Artes del EPL (Ejército Popular de Liberación). Gracias a las indicaciones y a la ayuda de mi apreciado profesor, el famoso escritor Huaizhong Xu, conseguí elaborar algunos relatos y novelas cortas, tales como 秋水 (El agua otoñal), 枯河 (Río seco), 透明的红萝卜 (El rábano rojo invisible), Sorgo rojo, etc. En El agua otoñal, apareció por primera vez el nombre de mi pueblo natal: El distrito Dongbei de Gaomi, y a partir de ese momento, me sentí un campesino vagabundo que por fin ha encontrado el campo que buscaba, un escritor perdido que ha encontrado su propia fuente de inspiración”.

Él mismo describe en su discurso de recepción del Nobel al que nos venimos refiriendo, la manera en la que se inició en el arte de escribir con estas palabras:

“Ir al mercado a escuchar cuentos es la primera página del libro de mi vida. En aquella época sólo era un chico a quien le fascinaban los cuentos y las palabras que se usaban para contarlos... Creía que todas las cosas tenían su espíritu. Cuando me encontraba con un árbol alto y grande, tenía ganas de expresarle mis respetos. Cuando veía un pájaro, me preocupaba cuándo se convertiría en un ser humano. Cuando veía a un desconocido, dudaba si sería un espíritu de animal metido en un cuerpo humano”.

No olvida elogiar a sus mayores de los que aprendió por su experiencia y se declara lector que admira la obra literaria del escritor estadounidense William Faulkner y del colombiano Gabriel García Márquez, fuentes de inspiración, aunque como él mismo manifiesta:

“Durante dos años seguí los pasos de estos dos maestros, pero luego me di cuenta de que tenía que alejarme de ellos. Esto lo expresé en un artículo: “Estos dos maestros son como dos hornos al rojo vivo y yo como un trozo de hielo, por lo que si me acercase mucho a ellos me evaporaría”.

Es decir, la tradición y los maestros consagrados los valora, pero reconoce que aunque fueron móviles impulsores del proceso creativo durante años le hicieron comprender, también, que:

“Cada escritor ha de tener una especialidad” y ha de ser “altivo y decidido en su producción literaria”.

Por ello, hay que crear tu propio estilo, huir del plagio, de lo contrario te autodestruyes; motivo por el cual Mo Yan comenzó a brillar con luz propia haciendo algo para él sencillo, que no era otra cosa que contar cuentos a su manera, que puedan llegar a cualquier lector, en los que lo vivido, la experiencia, no impida volar a la imaginación:

“Mi manera es la misma de los cuentacuentos del mercado de mi pueblo, a quienes conocía muy bien; es también la manera de mis abuelos y los ancianos de mi pueblo natal. Sinceramente, cuando cuento mis cuentos, no puedo imaginar quiénes serán mis lectores. A lo mejor, es alguien como mi madre, o alguien como yo. Mis cuentos son mis experiencias del pasado, como por ejemplo lo es, en Río seco, aquel chico al que pegan de manera horrible; en El rábano rojo invisible, lo es aquel chico que no habla nada desde el principio hasta el final de la obra. Igual que a él, mi padre una vez me pegó terriblemente debido a un error que cometí... Por supuesto, cuanto más singulares sean las experiencias personales, más se incluirán en las novelas, pero las novelas deben ser imaginarias y fabulosas, no pueden incluir experiencias sin más”.

Desde este planteamiento el autor justifica, con matices, porqué muchas personas consideran como su mejor novela *El rábano rojo invisible*:

“No la contradigo, tampoco la admito, pero, de todas formas El rábano rojo invisible es la más emblemática de mis obras y destaca por su profundo significado. Ese chico de piel oscura que tiene una capacidad incomparable para aguantar toda clase de sufrimientos y otra capacidad sobresaliente para percibir los pequeños cambios de la vida es el espíritu de esta novela. Aunque he creado muchos personajes después de este, ninguno puede compararse con él porque prácticamente es el entero reflejo de mi espíritu. O mejor dicho, entre todos los personajes creados por el mismo escritor siempre habrá uno superior a los demás; este chico callado es de ese tipo, que no habla nada pero que es capaz de dirigir al resto de personajes y observar las maravillosas actuaciones de los demás en un escenario como el distrito Dongbei de Gaomi”.

El pensamiento de Mo Yan ha sufrido a lo largo de estas últimas décadas una transformación. El discurso político oficial difundido en la época y durante la Revolución Cultural, de que los buenos eran perfectos y los malos no tenían nada bueno, ha derivado en este otro:

“En la vida real, no hay una línea que separe a unos de otros”

y ello ha conllevado otro modo de encarar la vida; no obstante Mo Yan ha sido duramente criticado por su negativa a suscribir una petición firmada por otros 134 galardonados con el Nobel, el Dalai Lama entre otros, que solicitaban la excarcelación de su paisano Liu Xiaobo, condenado a 11 años de prisión por su lucha a favor de la democracia en China. Liu Xiaobo, Nobel de la Paz en 2010, no pudo asistir a Estocolmo a recoger el premio, y su esposa, Liu Xia, se encuentra bajo arresto domiciliario. La critica le señala por su falta de compromiso a lo cual, cuando es preguntado al respecto, Mo Yan responde que apela a su independencia.

Su ambigüedad no obstante queda patente en más de una ocasión, ni si ni no, o tal vez hace suyo ese proverbio chino de que “hay que ser como el bambú, moverse siempre en la dirección del viento” porque en el caso referido, cuando se le inquirió acerca del tema, tras la concesión del Nobel, la respuesta fue rotunda: “me gustaría que Liu obtuviera la libertad lo antes posible”.

El premio Nobel sirvió, entre otras cosas, a Mo Yan para ser conocido a nivel mundial. No obstante, su lanzamiento y popularidad fue debido a la adaptación cinematográfica, en 1988, de su novela *Sorgo Rojo*, dirigida por Zhang Yimou y protagonizada por la actriz Gong Li, premiada con el Oso de Oro del Festival de Berlín. Ambientada, como muchas de sus obras, en los pueblos de su provincia natal que le vieron crecer y pasar hambre, *Sorgo rojo* retrata la azarosa vida de una joven que es vendida al dueño leproso de una destilería durante los violentos años de la ocupación japonesa (1931-1945).

Esta no fue la única adaptación al cine de sus obras. En el año 2000, el mismo director llevó a la gran pantalla *Happy Times* y más tarde, en 2003, Huo Jianqi dirigió *Nuan*, sin embargo, a partir de la concesión del Nobel, la popularidad de Mo Yan se ha incrementado, en España e Hispanoamérica, al igual que las ventas de sus libros, muchos de los cuales han sido editados, en España, por la editorial Kailas.

■ Mo Yan y la tradición china

Quizás por su aislamiento, la literatura china no tuvo demasiada repercusión en Occidente hasta el siglo XX y no por eso debe calificarse de género inexistente o poco prestigioso. Durante diferentes dinastías, especialmente durante la Tang (año 907 d.C), el desarrollo de la cultura china fue notable. La poesía, valorada y admirada por los chinos, con autores como Li Bai o la prosa con Han Yu, al que algunos consideran

el mejor escritor chino de todos los tiempos, junto a otros como; Ouyang Xiu, Su Xun, Su Zhe, Wang Anshi, o Zeng Gong alcanzaron un gran nivel más artificioso que en épocas anteriores pero importantes.

No obstante, las importantes novelas “clásicas” chinas cuya narrativa gira, en general, en torno a una trama en la que el bambú y el excesivo número de personajes, amores, desamores, luchas por el poder... conforman a modo de irrealistas tragedias, a veces inabarcables pero espléndidas, aparecen a partir del siglo XIV: *Romance de los Tres reinos*, escrita en 1330, por Luo Guanzhong, o *A La orilla del agua, o Viaje al oeste* (1590), atribuida a Wu Cheng y sin duda la más importante, *El Sueño en el pabellón rojo*, datada en 1792, atribuida a Cao Xuequin y traducida al idioma español por Zhao Zhenjiang y José Antonio García Sánchez y revisada la edición por Alicia Delinque, ha sido considerada por José Luis Borges como “novela infinita” y el “Quijote” chino⁵ por otros autores.

Tras este esplendor se observa en la narrativa china, a lo largo de la decimonovena centuria, un decaimiento, consecuencia de la saturación de su propia e inabarcable dinámica, frontalmente opuesta a la poesía más del gusto de los chinos, más melódiosa y filosófica. No en vano la poesía fue considerada, desde épocas pretéritas, el género más elevado y venerado por los chinos, y de hecho algunas de sus obras más universales son poemarios.

Es en el primer cuarto del siglo XX cuando Lu Xun (25 de septiembre 1881 - 19 de octubre de 1936), al timón, da un cambio de rumbo al hacer literario en China.

Intelectual próximo al poder formó parte de la Liga de Escritores de Izquierdas. Lu Xun defiende la urgente necesidad de acometer reformas culturales, sociales también, que permitan una modernización de la narrativa china con la mirada puesta en Occidente criticando por ello, abiertamente, el lastre que supone la consideración de única e inamovible la cultura china tradicional, su autarquía cultural, que impide seguir adelante.

El impulso y acción de Lu Xun favoreciendo la occidentalización de la literatura china ha sido valorado, no en vano se le considera el padre de la literatura moderna china.

⁵Cf. El “Quijote” Chino. Edc. impresa . <http://elpais.com/diario/2010/11/06/babelia/1289005937-850215.html>. consultada el 14/01/2013

Superado el maoísmo y los excesos de la revolución cultural, apareció una generación puente, que hizo de vínculo entre el realismo socialista y el presente, a la que pertenece Mo Yan.

Es casi retórica la importancia de Mo Yan como nexo de unión entre la cultura occidental y la narrativa china. En él la influencia occidental se hace muy patente. Él mismo ha reconocido este hecho y ha sabido aprovechar lo mejor de las grandes novelas chinas (como Murakami hizo con la tradición japonesa).

El análisis de algunas de sus grandes obras, como *Grandes pechos, amplias caderas* o *La república del vino* pone de manifiesto sus muchas influencias occidentales, al tiempo que se observa una recuperación de la narrativa tradicional china.

De hecho son obras que por su vastedad, su abundancia de personajes, su invocación al caos y sus bifurcaciones, se parecen más a los grandes clásicos del siglo XVIII que a afamados e influyentes novelista del siglo XX por su impresionismo de carácter simbolista cual Proust, o por el realismo mágico de Kafka.

Estas y otras actitudes literarias, no exentas de connotaciones políticas, han colocado a Mo Yan en el centro de la diana sobre la quelanzan los dardos, posiblemente envenenados por la envidia de la furibunda crítica, de muchos de sus compatriotas que, tal vez, difícilmente aceptan el éxito de los demás.

■ La estela de su madre

Los personajes femeninos son para Mo Yan tema importante de sus novelas, algo lógico si consideramos la influencia del ejemplo y enseñanzas de su madre, algo de lo que él se considera orgulloso, y de hecho la mayor parte de su discurso es todo un homenaje a su progenitora.

Su madre está permanentemente en su mente y en su corazón pero su ausencia le duele, la orfandad, especialmente en momentos tan importantes de su vida como el que está viviendo en Estocolmo. No es extraño, por ello, que inicie su discurso recordándola:

“... En este momento tan glorioso, solo echo de menos a una persona, y es a mi madre. A ella no podremos verla más. Cuando la noticia de que yo había conseguido el premio Nobel se extendió por China, mucha gente me felicitó, pero ella no lo podrá hacer nunca”.

Los recuerdos le invaden, la ternura y comprensión de ella inspiran sus escritos, sus virtudes están por encima de cualquier otra consideración. La ayuda de su madre y la influencia en el devenir del Nobel es obvia. Su madre valoraba a las personas educadas y daba prioridad al saber, a la formación de sus hijos. El alimento material era muy importante, sobre todo en lugares con muchas “escaseces” pero no olvidaba que el conocimiento es exigible tal vez, añado yo, para alcanzar la auténtica libertad:

“Mi madre era analfabeta, por eso respetaba extraordinariamente a las personas con educación. La vida estaba llena de dificultades, no se podían garantizar las tres comidas regulares del día, pero siempre que le pedía que me comprara algún libro o algo de papelería, me lo compraba. Mi madre era una persona trabajadora, odiaba a los jóvenes perezosos, pero siempre que dedicaba mucho tiempo a leer libros y me olvidaba de trabajar, mi madre me lo perdonaba.”

Otra de las enseñanzas recibidas es la solidaridad, el compartir con los otros, con los más necesitados, el dejar a un lado el egoísmo, que no siempre es fácil y menos en épocas de escasez. Mo Yan lo expresó de este modo en su relato:

“Un recuerdo imborrable que tengo es el de un mediodía en la fiesta de Medio Otoño. Habíamos superado muchas dificultades para poder cocer unos raviolis; a cada uno sólo le tocó un cuenco pequeño. Cuando estábamos a punto de empezar, un viejo mendigo se acercó a nuestra casa. Cogí un bol con varias tiras de boniato seco para dárselo, pero sin embargo se volvió enfadado y dijo: “Soy un señor mayor. Vosotros os coméis los raviolis y a mí en cambio me dejáis un poco de batata seca, qué corazón tan frío tenéis”. Sus palabras me irritaron y me defendí: “Tan solo podemos comer raviolis unas pocas veces al año. A cada uno nos tocan unos pocos, apenas pueden llenar la mitad de mi estómago. La batata seca es lo único que nos queda, si no laquieres, ¡vete ya!”. Madre me criticó. Luego levantó su medio bol de raviolis y se los dio todos al señor.”

Su madre influyó en su vida por su bondad, rectitud, e inteligencia. Sus enseñanzas morales no las olvida, la dignidad y honradez de las personas no han de ser vulnerables, y quedan reflejadas cuando Mo Yan escribe:

“El recuerdo que más arrepentimiento me ha causado es el del día que acompañé a mi madre a vender coles chinas. Por accidente, cobré diez céntimos de más a un señor mayor. Sumé todo el dinero y fui a la escuela. Cuando la clase terminó y volví a

casa, vi a mi madre, una mujer que casi no lloraba, llorando con mucha tristeza. Las lágrimas le habían empapado la cara. Mi madre no me regañó sino que dejó escapar suavemente unas palabras: "Hijo, qué vergüenza me has ocasionado".

El miedo a la pérdida de la matriarca le persigue, la soledad y la falta de faro que guíe su nave le atormentan, sufre sus enfermedades como algo preocupante, las somatiza y las cuenta así:

"Durante mi infancia, mi madre se contagió de una enfermedad pulmonar. El hambre, la enfermedad y el cansancio arrastraron a toda la familia hacia el fondo de un abismo oscuro de desesperación. Cada día tenía más claro un terrible presentimiento, me parecía que mi madre podría suicidarse en cualquier momento. Siempre que volvía a casa del trabajo, al entrar por la puerta gritaba el nombre de mi madre en voz alta. Si me respondía, podía acabar tranquilamente ese día; en caso contrario, me ponía muy nervioso, buscaba por todas partes a mi madre, incluso iba a la habitación lateral y al molino para buscar algún rastro de ella. Hubo una vez que después de recorrer todos los lugares posibles, no pude encontrar a mi madre así que me quedé sentado en el patio y me eché a llorar con todas mis fuerzas. Justo en ese momento, vi a lo lejos a mi madre que volvía con un haz de leña. Me expresó el disgusto que le causaba mi llanto y aun así, no le pude explicar lo preocupado que estaba por ella. Madre percibió el secreto de mi corazón y dijo: "Hijo, no te preocupes, aunque se me haya despojado de cualquier alegría en la vida, si no ha llegado el momento no iré al otro mundo".

La pérdida se hace dura pero no obstante la cercanía de su madre la justifica al considerar su pertenencia a la tierra, forma parte de la tierra, su cuerpo ya se ha unido a la tierra, por eso le escucha, en cualquier lugar, en todo momento:

"Mi madre nació en el año 1922 y falleció en 1994. Sus cenizas estaban enterradas en un huerto de melocotoneros al este de mi pueblo. El año pasado, debido a la construcción de una vía ferroviaria que iba a pasar por ese lugar, no tuvimos más remedio que trasladar su tumba hacia otro lugar más alejado del pueblo. Cuando la desenterramos, me di cuenta de que la caja de cenizas se había descompuesto y que éstas se habían convertido en parte de la tierra. Sólo pudimos sacar un poco de barro como recuerdo para ponerlo en la nueva tumba. A partir de aquel momento, sentí que mi madre era parte de la tierra y cuando me pongo de pie sobre ella para contar cuentos, sé que mi madre está escuchándome".

Tras su muerte, la inspiración sobrevino al dolor, y a su memoria dedica su obra *Grandes pechos, amplias caderas*, hecho que el autor entiende así:

“Cuando falleció mi madre, me ahogó el dolor y decidí escribir un libro sobre su vida. Me refiero a Grandes pechos, amplias caderas. Como la conocía de toda la vida y estaba lleno de sentimientos hacia ella, terminé el primer borrador de esta novela de quinientas mil palabras en tan solo ochenta y tres días”.

Mo Yan incluye en sus obras, además de a su madre, mujeres de su entorno familiar las convierte en personajes literarios: su abuela, su esposa, su hija y su tía ¡todo un homenaje a la mujer china!, tan sufrida como necesaria en una sociedad opresora en la que nada le resulta fácil; ello exige, a veces, transformar la realidad para crear un personaje. Por eso para él, autor realista, las obras no necesariamente han de ser una ruda descripción de las cosas tal como suceden, sino que hay que saber contarlas y a través de estos “cuentos”, fábula e historia juntas, hacer llegar al lector la realidad a través de la ficción, con todas sus miserias y grandezas; él mismo lo reconoce en su discurso:

“En mi última novela, Rana, aparece la figura de mi tía... Mi tía fue mi verdadero modelo cuando elaboraba esa novela; sin embargo, este personaje literario difiere mucho de mi tía. El carácter del personaje es muy fuerte, como si fuera un miembro de la mafia, y mi tía en cambio es muy simpática y alegre, una perfecta esposa y una madre encantadora. Mi verdadera tía ha tenido una vida muy feliz hasta ahora, pero mi tía literaria, cuando envejeció, padecía insomnio consecuencia de una profunda herida psíquica y vestía una toga negra todos los días como si fuera un fantasma que estuviera vagando en la noche. Tengo que agradecerle a mi verdadera tía su tolerancia porque no se enfadó después de saber que la había descrito de aquella forma; también aprecio mucho su inteligencia porque ha sabido entender la compleja relación que existe entre los personajes literarios y las personas reales”.

■ Comentarios a su obra

Mo Yan expresamente se autodefine⁶ como “cuentacuentos”, pero un cuentacuentos moderno, y esos bellos “cuentos” impregnados de su propio estilo literario en el

⁶ Cf.: Discurso de ingreso, pronunciado en Estocolmo el 7 de diciembre de 2012, ya citado. Copyright FUNDACIÓN NOBEL 2012.

que aúna el clasicismo de la tradición china con la influencia modernista de la novela occidental, tradición y técnica, narración y artes folclóricas, le han permitido alcanzar, reiteramos, el premio Nobel de Literatura 2012 y convertirse en uno de los autores vivos, tal vez mas leídos e influyentes del continente asiático.

La evolución de la obra literaria de Mo Yan es evidente. Las influencias de otros autores también: la ironía social de Lu Xun, el realismo mágico del colombiano Gabriel García Márquez, o el modernismo innovador del estadounidense, premio Nobel de literatura en 1949, William Faulkner.

Sus muchas obras son espejo de su propia vida, y en ellas el dios Jano se materializa como él mismo, expresamente, reconoce:

“Mi vida y mis novelas son las dos caras de una misma moneda.”

La publicación de *El suplicio del sándalo* supuso, como él mismo reconoce, un cambio de estilo de sus novelas en las que combina las tradiciones chinas y las técnicas narrativas occidentales:

“Si describimos mi estilo anterior como el de un cuentacuentos que no piensa en los lectores, a partir de este libro me imaginé que estaba en una plaza contando cuentos ante un público con palabras impresionantes. Esto es clásico en la elaboración de las novelas y también es clásico de las novelas chinas. Aprendí los estilos de las novelas modernas de Occidente, también usé diferentes estilos narrativos, pero al final, recurrí a la tradición. Por supuesto, la vuelta a la tradición no es solo eso. El suplicio del sándalo y las siguientes novelas son una combinación de las tradiciones chinas y las técnicas narrativas occidentales. Las novelas innovadoras son productos de este tipo. No solo combiné la tradición y la técnica sino también la narración y otras artes folclóricas. Por ejemplo, El suplicio del sándalo fue un intento de combinar la novela con la ópera local, igual que sucede en mis primeras novelas, que también se han nutrido de las bellas artes, la música e incluso de la acrobacia.”

De las obras traducidas al español publicadas en España, editadas por Kailas o El Aleph ediciones, *Sorgo rojo* (1987), *Las baladas del ajo* (1988), *La república del vino* (1992), *Grandes pechos, amplias caderas* (1996); *Shifu, harías cualquier cosa por divertirte* (1999), *La vida y la muerte me están desgastando* (2006), *Cambios* (2010), y *Rana* (2011); quizás la mas popular, no solo aquí sino en Occidente, sea *Sorgo Rojo*, sin menoscabo de que *El rábano rojo invisible* fue su primer libro de éxito. La adap-

tación cinematográfica, ya comentada, de *Sorgo Rojo* ha permitido su difusión al gran público a través de la “gran pantalla” dándole una gran popularidad.

Sorgo Rojo es “una novela sobre la familia, el mito y la memoria, en la que fábula e historia se unen para crear una ficción cruel e inolvidable”⁷. Una obra esencial para entender la actual sociedad china. La historia cuenta las vicisitudes, miserias, sufrimiento, humillaciones y lucha por “la vida” de tres generaciones de una familia a lo largo de cuatro décadas. El relato se inicia en 1939, en un ambiente de guerra causada por la invasión japonesa a China en 1937. El simbolismo del sorgo es obvio, esta planta gramínea cultivada por los campesinos en China, de la cual se obtenía un embriagante vino, era la base de su subsistencia, por lo cual se transforma en época de guerra en el epicentro de su supervivencia:

“*El sorgo ya ha madurado
el japonés llegará,
Compatriotas, preparados,
Vuestras armas disparad...*”⁸

No podían faltar en esta novela relatos de amores, desamores, venturas y desventuras entre una joven casada, contra su voluntad, por deseo de su padre con un adinerado, leproso, dueño de una destilería, y su verdadero amor, el joven comandante Yu Zhan'ao .

La dureza de la narración se hace ternura al relatar las decisiones que en un ambiente de guerra y terror han de tomar sus mayores, los abuelos, la huida sin perder su dignidad y los recuerdos del pasado:

“*La existencia humana es tan breve como la vida de la hierba en otoño: ¿Por qué temer al tomar decisiones en su propia vida?*”⁹

Otra de sus obras publicadas en España, es *La balada del ajo*. La acción se desarrolla en una zona rural de China, el Condado Paraíso, en la que sus habitantes, generación tras generación, no han percibido cambio social alguno. Las plantaciones de ajos es su única riqueza, el Gobierno les obliga a ello. Pagan elevados impuestos, pero la realidad es que les lleva a la miseria, su trabajo diario estéril, al no poder

⁷ Cf. MOYAN. *Sorgo Rojo*, Trad Ana Poljak. 3^a edc. El Aleph ed. Barcelona (2012).

⁸ Ídem. Pág. 10.

⁹ Ídem. Pág.123.

vender su producción, necesaria transacción para poder vivir, por exceso del producto y falta de mercado.

El desánimo, el engaño, y la manipulación a la que se ven sometidos encienden la llama de la violencia. La sublevación campesina es un hecho, pero también lo fue la represión brutal a la que se vieron sometidos por el Gobierno chino, y sin embargo el amor y la lealtad de los insurgentes a su pueblo se mantiene a pesar de todo.

La consideración del autor sobre esta obra es la de una novela realista, en la cual diseñó la figura de un cuentacuentos pero el relato está alejado de la realidad, lo que en ella cuenta es producto de la imaginación, es todo inventado¹⁰. ¿Es ésta tal vez una excusa o un afán de querer justificar la actuación política de las autoridades chinas?, ese sí pero no, es el continuo intento de unir realidad y respeto, de sus propias palabras se desprende este deseo:

“Cuando escribí las novelas del tipo de Las baladas del ajo, es decir, las novelas realistas, el mayor problema que se me presentó no era que tuviera miedo de enfrentarme a las oscuridades sociales y criticarlas, sino cómo controlar la pasión ardiente y la furia para no desviarme hacia la política ni alejarme de la literatura. No quiero escribir una crónica de los acontecimientos sociales. Un novelista es parte de la sociedad, por lo que es natural que tenga sus propias opiniones e ideas; sin embargo, cuando está escribiendo debe ser justo, debe respetar a todos los personajes igual que respeta a las personas reales. Siempre y cuando se cumpla este requisito, la literatura puede nacer de la realidad e incluso superarla, puede preocuparse por la política pero estar por encima de ella”.

En *La república del vino*, otra de sus importantes obras en la que muestra una singularidad única, la creatividad hiperbólica y alucinatoria, que proporcionan los elixires embriagadores de la imaginación, permiten al autor a través de personajes asombrosos; niños que han nacido para ser devorados, un enano, un demonio, recetas monstruosas elaboradas por una profesora de cocina para alimentar a sus alumnos a satirizar acerca de la corrupción gubernamental y la obsesión de su país por la comida y el alcohol, todo un alegato a la degradación de la humanidad.

¹⁰ MO YAM. Discurso de aceptación del Nobel citado.

Como ha quedado dicho la muerte de su madre supuso para Mo Yan una gran pérdida. El sentimiento de orfandad y la gran tristeza en la que se vio sumido inspiró la escritura de *Grandes pechos, amplias caderas*.

Obra dedicada a la memoria de su progenitora, es una espléndida revisión de la historia china, de la historia china del siglo XX, a través de un relato cuyo eje central es la recreación sobre la vida de una mujer, una mujer que como él mismo manifiesta es su madre, lo cual no supone que sea una biografía de su progenitora; ella es la protagonista de la obra, pero en ella personifica a todas las madres del mundo. Mo Yan afirma al respecto que:

“Me he atrevido a usar los detalles que conocía sobre su vida; no obstante, respecto a su experiencia amorosa, he inventado una parte y también he acumulado las experiencias de las madres de su edad del distrito Dongbei de Gaomi. En la dedicatoria de este libro puse la siguiente frase: “Al alma de mi madre”, sin embargo, esta obra en realidad está dedicada a todas las madres de este mundo. Esta es una de mis ambiciones, como la de querer abstraerme de China y de este mundo y minimizarlos en el distrito Dongbei de Gaomi”.

El relato, cronológicamente, se desarrolla en el espacio temporal que abarca los últimos tiempos de la dinastía Qing y primeros de la época postmaoísta.

La protagonista es una mujer que tiene ocho niñas antes de lograr el deseado varón, todos fuera del matrimonio. Una obra monumental, brutal y realista, en la que enaltece la abnegación y la fuerza de la mujer, pero que fue prohibida en China por dos razones. En primer lugar, porque se separó de la doctrina oficial, que dictaba que “todo lo que había hecho era perfecto, sin ningún error, y lo que había hecho el Kuomintang, el partido nacionalista de Chiang Kai-shek, que perdió la guerra civil contra los comunistas de Mao Zedong, era malvado”. En segundo lugar, porque describió “de forma atrevida y directa el cuerpo humano”¹¹.

Shifu, harías cualquier cosa por divertirte. Shifu, que en chino significa profesor o maestro, es una obra compuesta por ocho breves cuentos. El “cuentacuentos” como se autodenomina Mo Yan, deja constancia en estos textos de todo su talento. El título “haría cualquier cosa por divertirte” es además una realidad con la lectura de cual-

¹¹ Pablo M DIEZ. *Op. cit.*

quiera de los ocho relatos, permite dejar volar la imaginación del lector con descripciones fantásticas en las que la sátira y el humor se entremezclan.

El protagonista del primero de los relatos es el viejo Ding que tras dedicarse durante 43 años de su vida, a trabajar sin descanso en una fábrica municipal ganadera ve recompensado su esfuerzo al ser distinguido con el título honorífico de “Maestro” pero, ¡oh ironías de la vida!, poco después le despiden del trabajo, y ¿cuál fue su reacción? , lejos de sumirse en un conformismo obligado, enfrentarse a la renovación, al necesario cambio, dando la cara a la China moderna, adentrándose en el mundo capitalista y convirtiéndose en empresario. La fuerza expresiva de la narración hacen de este texto uno de los mas bellos de Mo Yan.

En 2006 fue publicada *La vida y la muerte me están desgastando*, novela, como él mismo reconoce, de la que se siente más orgulloso, presumiblemente porque con ella alcanza su propio estilo:

“La mayoría de mis libros utilizan un estilo copiado de Occidente. Este tiene mi propio estilo, he roto con esas influencias”.

En el discurso, tantas veces referido base primordial de nuestros comentarios, pronunciado en Estocolmo, no es baladí que le dedique tanto tiempo a explicar el qué y por qué de esta obra que confirman el aserto precedente de que es “su propio estilo”, en el cual la admiración a los versos budistas son fuente de inspiración y ayuda para entender cuál es la mejor manera de contar cuentos. Estas son sus palabras:

“Por último, permítanme presentarles otra obra mía, La vida y la muerte me están desgastando. El título de este libro está inspirado en unos versos budistas. Según me han dicho, la traducción de este título ha causado problemas, no muy grandes pero sí considerables, a los traductores de diferentes países. No soy un especialista en budismo y mi entendimiento sobre los versos budistas es superficial, pero la razón por la que elegí este título para mi novela fue por la admiración que siento hacia los pensamientos budistas. Uno de los puntos básicos de este pensamiento es la verdadera comprensión del universo. Desde el punto de vista de los budistas, muchos de los conflictos humanos son insignificantes. A los budistas el mundo actual les parece muy sombrío. Por supuesto, no quería escribir este libro como si fuese un sermón; lo que escribí hablaba sobre el destino y las emociones del ser humano, así como de los límites que tiene, la tolerancia, los esfuerzos y sacrificios que se requieren para lograr el objetivo personal y alcanzar la felicidad. El personaje de cara azulada que luchaba

contra la corriente histórica era el verdadero protagonista en mi corazón. La persona real a la que corresponde este personaje fue un campesino que vivía en un pueblo vecino al nuestro. En mi pubertad, le veía pasando con frecuencia por la puerta de mi casa y empujando un carro de madera que emitía un leve y extraño sonido. Un burro cojo tiraba de aquel carro y la persona que guiaba al animal era su esposa, que tenía los pies vendados. Ese grupo de trabajo tan extraordinario en la sociedad de aquella época resultaba muy raro y muy inapropiado. A los ojos de unos niños como nosotros, eran unos seres ridículos que iban contra el progreso histórico; incluso les arrojamos piedras para expresar nuestro desacuerdo con ellos. Muchos años después, cuando empecé a escribir cuentos sobre ellos, este personaje de cara azulada, esta imagen, apareció en mi mente. Sabía que tarde o temprano escribiría un libro sobre él, que compartiría sus cuentos con todo el mundo; sin embargo, no fue hasta 2005, cuando estaba visitando un templo budista y admirando los murales que representaban la leyenda de «Las seis etapas de la gran rueda del karma», que llegué a entender cuál era la manera más adecuada de contar sus cuentos”.

La última obra publicada por Mo Yan, de 2011, y la primera de las obras traducida al español directamente del chino, es *Rana*, a ella nos hemos referido citando las palabras de su autor en las que explica la diferencia entre el personaje literario de esta creación, su tía, y el personaje real de su tía que nada tiene que ver con aquel.

La puesta en el mercado de esta obra ha desatado la controversia en su país. El autor aborda un tema no negociable en China, una imposición obligatoria a los padres en este país como es la imposibilidad de tener más de un hijo; el control de la natalidad es una de las exigencias, o prioridades, de la política del gobierno comunista, por ello un chino no debe polemizar acerca de este tema a no ser que se arriesgue a ser castigado por su desafío, y eso es lo que hace Mo Yan atreviéndose a criticar, expresamente, la política del control de la natalidad de su país al no permitir a las parejas tener más que un hijo, “el hijo único”. Mo Yan lo hace valientemente sin temer a ser encarcelado o extrañado por ello, algo que hasta ahora ningún autor literario se había atrevido a hacer a través de sus obras.

La rana es un anfibio con una gran capacidad reproductora y Mo Yan la utiliza como símbolo de la procreación.

La novela plantea el problema que se le presenta a una médica de familia para aunar política de planificación familiar, antedicha, y deseo, libertad es tabú, de los padres a tener varios hijos debiendo incluso practicar métodos abortivos a mujeres embarazadas

del segundo hijo, o procedimientos similares bien para impedir, bien para interrumpir embarazos, presumiblemente, deseados pero no permitidos a las clases más pobres.

Todo ello genera una gran lucha interior en la protagonista que se debate en la actuación profesional de este médico al tener que elegir entre lo que cree, lo que debe y lo que puede hacer, que le acarrearán graves problemas psíquicos. Sin duda el relato realista y de gran crudeza está magníficamente contado por el autor.

Cambios, última de las obras de Mo Yan publicada en España, de 2012, es tal vez su obra más autobiográfica. Es la vida de él y de las gentes de su entorno, con sus luces y sombras durante cuarenta años, las vivencias de un joven, sus aventuras y desventuras; el estudiante, el pastor, el obrero, el militar, el escritor, y a través de estas narraciones, entrelazadas bellamente con coloristas sedas en un telar cuyo fondo permite ver la historia de su país, un país que desempeña un importante papel a nivel mundial en permanente cambio y necesaria proyección fuera del “tapiz”.

En síntesis, el Premio Nobel de 2012 es uno de los grandes novelistas de nuestros días, “cuentacuentos”, realista, y soñador con un creatividad extraordinaria cuya obra, sin renunciar a la tradición china, asume la cultura occidental como algo natural en el desarrollo normal de un intelectual, capaz de denunciar las realidades de su país no coincidentes con su pensamiento, aunque hemos de señalar que la poda de estructuras caducas a veces se interrumpe por la complacencia al Gobierno de su país y esta ambigüedad le genera críticas de los disidentes no siempre por él bien aceptadas.

■ Bibliografía en español de Mo Yan

Sorgo rojo (1987), trad.: Ana Poljak, El Aleph, Barcelona, 1992; ISBN: 978-84-7669-855-6.

Las baladas del ajo (1988), trad.: Carlos Ossés, Kailas, Madrid, 2008; ISBN: 978-84-89624-42-9.

La república del vino (1992), trad.: Cora Tiedra, Kailas, Madrid, 2010; ISBN: 978-84-89624-73-3.

Grandes pechos, amplias caderas (1996), trad.: Mariano Peyrou, Kailas, Madrid, 2007; ISBN: 978-84-89624-26-9.

Shifu, harías cualquier cosa por divertirte (1999), trad.: Cora Tiedra, Kailas, Madrid, 2011; ISBN: 978-84-89624-81-8.

La vida y la muerte me están desgastando (2006), trad.: Cora Tiedra, Kailas, Madrid, 2010; ISBN: 978-84-8962-461-0.

Rana (2011), trad.: Yifan Li, Kailas, Madrid, 2011; ISBN: 978-84-89624-84-9.

Cambios (2010), Seix Barral, Barcelona, 2012; ISBN: 978-84-3221484-4.

Premio Nobel de la Paz 2012

LA UNIÓN EUROPEA

El Comité noruego del Premio Nobel acordó el pasado 12 de octubre conceder el Premio Nobel de la Paz 2012 a la Unión Europea. El Comité señaló que basaba su decisión en el papel estabilizador desempeñado por la Unión Europea al transformar la mayor parte de Europa en un continente de paz, siendo el principal logro el éxito de su lucha en favor de la paz y la reconciliación, la democracia y los derechos humanos.



El trabajo de la Unión Europea representa la “fraternidad entre naciones” y se asemeja a los “congresos de la paz” a los que se refería Alfred Nobel en su testamento de 1895 como criterios para el premio de la Paz. La Unión Europea es la vigésima primera organización internacional que gana el premio desde 1901.

La entrega del Premio tuvo lugar el 10 de diciembre en Oslo. Como el resto de los ganadores, los presidentes, que aparecen en la fotografía, recibieron el Premio de manos del Presidente del Comité noruego del Nobel.



En la foto, de izquierda a derecha, Herman Van Rompuy, Presidente del Consejo Europeo; José Manuel Durão, Presidente de la Comisión Europea; y Martin Schulz, Presidente del Parlamento Europeo, en un momento después de recoger el Premio. En palabras del Presidente del Comité noruego del Premio “este es un reconocimiento de los avances que en los 60 últimos años se han realizado en favor de la paz y la reconciliación”.

Premio Nobel de la Paz 2012

LA UNIÓN EUROPEA

Ángel Sánchez de la Torre

■ ¿Qué nos dice el nombre de “Europa”?

Haber recibido el Premio Nobel de la Paz en el año 2012 significa para la Unión Europea dos retos que están sometidos a enjuiciamiento histórico: haber establecido un proceso de cooperación entre Estados europeos que durante siglos han protagonizado guerras y violencias recíprocas; y estímulo para que en adelante se afirmen los instrumentos de comunicación y de mutua ayuda que impulsen el progreso interno y que contribuyan a establecer relaciones pacíficas entre todos los países del mundo.

El nombre mismo de “unión europea” merece esa recompensa y asume tal responsabilidad. Efectivamente la “unión” es un proceso dinámico que no constituye instituciones rígidas como sería la “unidad”, pero que incluye evitar “secesiones” donde pudieran surgir nuevos obstáculos para la cooperación o al menos debilidades frente a otros poderes culturales, sociales, económicos y estratégicos mundiales.

En cuanto a Europa misma, hay que considerar su entidad y sus proyecciones mirando más allá de las circunstancias históricas inmediatas que subrayan la importancia de un “Premio por la Paz” asignado en 2012. Europa tiene su pasado y se enfrenta a su futuro.

Como en todos los fenómenos históricos, para Europa el pasado contiene ya al presente, y el presente contiene ya al futuro. Pero lo que signifique Europa para la paz interna y para la paz mundial hay que entenderlo comenzando desde el principio. In-

cluso desde los tiempos en que cooperación y violencia no tenían sentido propio, dado que lo único que podía ser considerado era el hecho de la supervivencia de individuos y grupos.

Además, las transformaciones que los actuales componentes de la Unión Europea han experimentado singularmente son infinitas en su transcendencia sociológica y en su evolución histórica, donde las influencias recibidas exceden a las manifestaciones de la entidad propia.

Tomemos como ejemplo uno de los Estados miembros de la UE, Malta.

La isla de Malta pudo haberse llamado Ogigia en los poemas de Homero. Recalaron e impusieron su poder en ella fenicios, griegos, cartagineses y romanos a finales del siglo III a.C. En su costa naufragó el apóstol Pablo de Tarso. Despues de Teodosio, perteneció al Imperio Romano de Oriente, hasta que la invadieron vándalos y ostrogodos y la recuperó el Imperio Griego. Fue invadida por los islamitas en 870, reconquistada por el normando Roberto II de Sicilia en 1127 y desde 1194 pasó con este reino al emperador de Alemania Enrique VI. En 1266, se apoderaron de ella los franceses hasta que el rey de Aragón Pedro III instaló el poder español. En 1530, Carlos V cedió Malta a los Caballeros de San Juan de Jerusalén y sus sucesores la ayudaron a resistir al avance turco. En 1798, Napoleón se apoderó de Malta durante su expedición a Egipto, y la armada inglesa la restituyó nominalmente a la Orden, llamada desde mucho tiempo antes “de Malta”, en 1800, pero siguió teniéndola bajo su poder hasta después de la Segunda Guerra Mundial. Durante ésta era territorio integrado en la Commonwealth y sometido a bombardeos desde Italia cuando era parte del Eje ítalo-alemán, hasta que a partir de 1954 se desarrollan procesos de participación política libre conducentes a la creación de su Estado independiente.

El resto de los países europeos ha atravesado incidencias análogas. Esta gran península, situada al oeste del continente asiático y comunicada por mar con el africano, ha recibido su nombre de las actividades que en tiempos antiguos realizaban algunos de sus pobladores y que luego se han extendido al conjunto territorial que ahora conocemos, donde aproximadamente la mitad no pertenece al ámbito de la Unión Europea. Y esas actividades eran producto de las comunicaciones que unas poblaciones establecían con otras. Obviamente, las más dinámicas, en pequeños grupos eran las que se asentaban en las orillas de mares y ríos; y, en grandes grupos, las que se trasladaban desde las estepas asiáticas hacia el occidente, como fueron sucesivamente celtas, germanos, magiares, etc.

Dentro del milenio anterior a nuestra era, la presencia de fenicios avanzaba por la costa africana hasta el ahora llamado Mediterráneo Occidental, y la presencia de griegos alcanzaba esos mismos confines siguiendo la costa norte de ese mismo mar. Se trataba de navegantes que buscaban instalar colonias y adquirir riquezas mediante el comercio o en su caso mediante la violencia.

Europa recibe su nombre de aquella actividad. Durante el siglo IX eran los Eubeos, que enseguida fueron denominados Europeos. Estos nombres denotan la actividad mercantil pero también el uso de tácticas predadoras y casi guerreras. Como revelan sus nombres en idioma griego, *eubaío* significa “buen navegar”, y *európe* “buen negocio”, “buen viaje de negocios”, de la misma manera que *eunóstos* –nombre de un puerto que existió en el delta del Nilo– significaba “buen regreso”. Tales denominaciones explican la sustitución por los griegos de la aventura fenicia, donde el mito de Europa, raptada por Zeus en Tiro y llevada a Creta, legitima la empresa helénica; del mismo modo en que el traslado de Dido a Cartago da fe de su causa: la invasión de las costas mediterráneas por los asirios. Parecería que la conciencia primordial europea se reflejase para estos colonizadores en un texto de la Primera Pítica de Píndaro (Beocia, siglos VI-V): “La primera alegría del navegante es un viento favorable al inicio del viaje, pues hace presagiar que también, al final, es seguro el regreso”.

Donde hay amplias coincidencias es en asignar a la mayor parte de los grupos europeos el carácter de “jaféticos”, procedente de la tradición bíblica referida a la repoblación del mundo tras el Diluvio, donde reciben cierta unificación varias estructuras religiosas, lingüísticas y etnológicas actuales, hacia el oeste y el sur de los Montes Urales.

■ ¿Qué sabemos de los intentos históricos de “unificar” Europa?

Ha habido iniciativas diversas: unas como expansión política desde ciertos países. Otras anteriores como aprovechamiento de riquezas que había que buscar fuera de los límites propios. Otras como extensión de nociones geográficas que los científicos acuñaban para abarcar territorios más amplios que el propio. Pongamos ejemplos antiguos.

Parece que en el siglo IV a.C. Alejandro de Macedonia encargó al navegante Pyteas de Marsella bordear el Atlántico norte para descubrir si había paso por el mar Báltico hacia la India. El Imperio Romano llegó a abarcar las Islas Británicas y el territorio europeo al sur del Elba y del Danubio, pero conociendo que en las tierras norteñas ha-

bía germanos y escitas (eslavos). El franco Carlomagno intentó reconstruir el Imperio Romano de Occidente y asimiló para ello a sajones y ávaros, tras haber rechazado a los hunos. El Imperio Sacro Romano se prolongó con diferente extensión y fuerza desde el siglo X hasta el siglo XVIII.

La extensión del Cristianismo como religión organizada en iglesias locales y supranacionales, configuró también amplias zonas de Europa y de países actualmente asiáticos, con preeminencia –según tiempos y lugares– de grandes obispos y sobre todo papas, que ejercían influencia unificadora, rivalizando a veces con otros magnates eclesiásticos, en Jerusalén, Antioquía, Constantinopla, Roma, Cartago (tras la invasión ostrogoda de Roma), Aviñón (durante el Cisma de Occidente), Atenas, Moscú, etc. Su presencia influyó también, a veces como factor expansivo de creencias religiosas, y otras veces como instrumento utilizado para expansiones y reivindicaciones políticas, y no solo como evangelización para la conversión a una fe determinada. En cierto momento Europa ha sido identificada con el Cristianismo, sobre todo en la expansión colonizadora de distintas potencias europeas en América, Indostán y África, a partir del siglo XVI.

La influencia de la religiosidad cristiana, sin embargo, no puede ser entendida solamente como fenómeno social y cultural dotado de formas y contenidos propios, sino que configura matices culturalmente relevantes que han impregnado a Europa con caracteres diferenciadores respecto a las expansiones y unificaciones políticas y económicas que hayan tenido lugar en otras áreas del planeta. Los perfiles actuales de la denominada “cultura occidental” vienen influidos por la índole propia de los europeos considerados en general.

Uno de esos aspectos es el sentimiento de la dignidad personal radicada en cada individuo humano (no derivado de situaciones singulares dentro de marcos familiares, políticos, éticos o étnicos); y otro es el sentimiento de que la dignidad personal se decanta en libertad de participación en las organizaciones colectivas (desde las religiosas hasta las políticas).

Tales ideas se refuerzan desde el mantenimiento de ciertas intuiciones teóricas surgidas ya expresamente en la mente de pensadores griegos y romanos sobre dichos supuestos. Lo que sí podemos afirmar es que tales principios no ocurren de la misma manera, y a veces no se dan en absoluto, en países no crecidos en la cultura que llamamos “europea”. La denominación de valores humanos en términos de “dignidad intrínseca e igual” y de “libertad social y política” ni siquiera aparece en lenguajes dis-

tintos de los que denominamos indoeuropeos, a no ser que aceptemos generosamente ciertas analogías que no llegan al fondo de lo que “dignidad”, “libertad”, “igualdad” significan, referidos a cada persona individual, entre nosotros.

¿No será esto razón suficiente para que, lo que significa ahora la UE, merezca el Premio Nobel de la Paz?

Volvamos al realismo aportando matizaciones concretas. El comercio antiguo incluía el tráfico de esclavos. Muchas de las expediciones mercantiles antiguas tenían por objeto la captura de hombres, mujeres y niños para asignarles a realizar ciertos servicios –desde rameras hasta eunucos, luchadores, y soldados mercenarios– o para exigir rescate por ellos. Este fenómeno ha existido formalmente hasta el siglo XIX en Europa, y aún hasta pleno siglo XXI en países autodenominados socialistas, e incluso se califica como esclavitud proletaria la situación de ciertos trabajadores por cuenta ajena en países cuyo régimen económico es el capitalista-liberal.

Había formas menos violentas de tráfico de personas. Tal era la condición de rehenes personales, a través de los cuales ciertos poderes políticos y militares garantizaban la alianza de otros sometidos a ellos. Y se llegaba a manejar a personas, dentro del más alto rango de las autoridades políticas, para establecer alianzas a través de intercambios familiares donde mujeres de una dinastía eran casadas con hombres de otra, de tal modo que repercutían en la garantía de establecer paz y ulteriores cooperaciones entre dos países, bien para integrar territorios, bien para defenderse o fortalecerse frente al exterior.

Recordemos esos fenómenos en antecedentes conocidos en nuestro país. El carthaginés Asdrúbal (el hermano de Aníbal, durante la campaña de este en Italia) tenía encerrados en Cartagena cientos de hijos e hijas de jefes españoles para garantizar que estos mantuvieran alianza, voluntaria o tras haber sido derrotados. Y el romano Publio Cornelio Escipión los liberó, en su campaña de 208 a.C., para invertir el sentido de las alianzas.

Análogamente, tras la invasión árabe, el gobernador Alkama retuvo en Gijón como rehén a la hermana del cántabro Pelayo (*pal-ainos*, “señor de la montaña” en celta) para asegurar la inacción de éste que, a su vez, se hallaba como rehén en Córdoba, de donde escapó, pues era hijo del duque Fáfila de Cantabria en el reino visigodo español. Otro ejemplo es el del rey cántabro-astur Froila, nieto de Pelayo, que tuvo con la rehén navarra Munia el hijo que sería el gran organizador y guerrero Alfonso II.

¿No observamos ya en estas conductas, colindantes entre la guerra y la paz, el precedente del famoso dicho difundido desde el siglo XIV europeo: *Alii bella gerant: tu, Felix Austria, nube?* De modo distinto a los destructores invasores guerreros, la dinastía de los Austrias establecía enlaces políticos mediante enlaces conyugales. En lugar de las armas, las rosas. Con eficacia desigual, pero desde luego menos violenta. La comunicación más pacífica era la comercial, y la belicosa quedaría regulada como último recurso, si bien a veces necesario: *Ultima ratio bellum*. El arreglo de cuentas establecidas en sangre, y no en metales preciosos de prosperidad común, debería relegarse a su mínima expresión...

La historia de Europa queda enmarcada en esta polaridad. Hay una necesidad primordial, y de ello tenemos recuerdo en cierto refrán inglés: “navegar es lo más necesario”. Lo que se haya de buscar podrá adquirirse por las buenas (compraventa, colonización pacífica) o por las malas (rapto, guerra, botín). Ambos significados están incluidos en la palabra griega *Európe*. Lo que sucede es que, posteriormente, las incursiones no tenían lugar solamente por la navegación, sino por las invasiones continentales. Y también que muchas guerras surgían desde el egoísmo exacerbado de reyes, que personalizaban en sí mismos la dignidad y libertad que habrían arrebatado al conjunto de sus súbditos.

El vaivén de los sucesos históricos resulta, así, del vaivén de la vigencia de los valores morales en los individuos y en el conjunto de la sociedad, según que estos los posean o los desprecien.

¿Podríamos precisar el modo en que tales comunicaciones llegaron a civilizarse, al servicio de la dignidad personal y de la igual libertad política, en un proceso discontinuo pero imparable, hasta llegar a fijarse en el mérito que actualmente ostentan el pequeño grupo de países cuya cooperación pacífica está organizada en la actual UE?

No podemos simplificar en preguntas como estas: ¿son más determinantes los gobernantes que el conjunto de los habitantes del país? ¿Quién ha sido más importante, entre Cristóbal Colón, Napoleón Bonaparte y Mozart? ¿Pueden los régimes democráticos explicar el colonialismo del siglo XIX o la llegada al poder de A. Hitler y de J. Stalin?

En el ámbito de la cultura europea hubo, en diferentes momentos, auténticas explosiones culturales como las de Atenas, Alejandría, Siracusa, Roma, París, Florencia, Países Bajos, Sevilla, Londres, Berlín o Viena. A estas últimas solemos denominar

“renacimientos” que, a su vez, han ofrecido aspectos singulares respecto a aquellas otras “clásicas”. Tales continuidades se han visto interferidas por algún tipo de discontinuidad, y su conjunto ha constituido la realidad europea tal como la conocemos. Aunque puede ser vista desde otras perspectivas, podríamos sugerir que la cultura europea se significa en temas como los siguientes: centralidad humanista, personalismo ético, imaginación científica, complementariedad entre valores políticos y religiosos (y a veces conflicto entre los mismos), proyección comunicante (*ius communicationis*).

■ **Procesos históricos de unificación europea desde el observatorio español**

España es uno de los Estados miembros de la UE, y uno de los países presentes en la historia europea. Desde hace tres mil años aparece con este nombre, ante otros pueblos europeos, como territorio situado entre los montes Pirineos y el mar donde se pone el sol. Altas montañas y anchos ríos separan unas poblaciones de otras. Navegantes fenicios, griegos, cartagineses, romanos y normandos llegan a sus costas. Pueblos nómadas como suevos, alanos, vándalos, visigodos, árabes y bereberes invaden sus tierras. El sustrato celta asimila en diferente medida esa variada presencia, cada una de las cuales sedimenta imponiendo sus propios perfiles a la organización o a la explotación –en variadas proporciones– del conjunto de los habitantes.

Desde su situación casi periférica, España participa en los diferentes procesos históricos de unificación. Pero generalmente nuestros historiadores no se fijan mucho en puntos muy importantes de este asunto. En una exposición sinóptica veremos brevísimamente cinco aspectos de esta participación: España romano-goda, reinos medievales, equilibrios políticos (medievales y modernos), expansión mundial de la presencia europea y partidismos contemporáneos en los españoles.

Europa desde la Hispania visigoda

Mediado el siglo VII, social, legal y culturalmente se había producido la integración política e incluso lingüística de la península. Su idioma culto era el latín. En 635 moría el obispo de Sevilla Isidoro. Dejaba escrito un conjunto de libros que se convertiría en texto de referencia durante los dos siglos siguientes en toda Europa, incluyendo a los núcleos científicos carolingios a partir del 770: el lenguaje latino, el compendio de conocimientos históricos y científicos y la liturgia cristiana fueron su empeño. También

opina muy claramente sobre la paz y la guerra, donde *bellum sit pessimum* (Etym. XVIII, I, 9) tras recordar la frase de Virgilio *bella, horrida bella*.

Lo que interesa subrayar aquí es la amplitud de sus conocimientos etnológicos. Aunque recoge el pensamiento clásico acerca del Estado, del Derecho y de la dignidad y libertad de las personas, sus referencias concretas son hacia los pueblos mismos, incluso para relatar su cultura jurídica y política.

Habría de entenderse que no había cuajado definitivamente la estabilidad territorial de sus organizaciones. Pero mencionaba los pueblos antiguos, de la época bíblica y de la antigüedad greco-romana (dárdanos, gabaonitas, gentiles, griegos, hebreos, helenos, hesperios, cartagineses, bactrianos, árcades, amoreos, atlantes, atenienses, etíopes, africanos, agarenos, moros, acarnanios, tirios, tesalios, tracios, asirios, sicilianos, escitas, sármatas, romanos, filisteos, pelasgos, númidas, nabateos, negros, macedonios, romanos, latinos, ligures, marsellenses, libios, idumeos, lacedemonios); así como los llegados más recientemente a tierras europeas (francos, galos, godos, germanos, getas, gétulos, bessos, bretones, búlgaros, borgoñones, vándalos, suevos, sajones, sarracenos, masagetas, hunos, etc.); y desde luego los más notorios, por diversas razones, entre los pobladores anteriores (galaicos, celtíberos, cántabros, astures, vascones, lusitanos, béticos, iberos e hispanos en general incluyendo los tingitanos o transfretanos).

No dejaba de apuntar también las confesiones religiosas según denominaciones que se iban decantando: cristianos, católicos, arrianos, herejes, apóstatas, infieles, etc. En definitiva, desde los libros de Isidoro de Sevilla se percibe la descripción de lo que se iría asentando como nuevo mundo cultural y político de Europa en los siglos posteriores, tras haberse acrisolado en las turbulencias propias de aquellas épocas.

Los reinos españoles y su mirada hacia el resto de Europa

Los españoles no intervinieron en la mayor empresa colectiva europea que fueron las Cruzadas (1095-1270), si bien aquellas hazañas no pasaron inadvertidas. Jaime I se propuso en algún momento reconquistar el Santo Sepulcro, y en el cerco de Acre –durante la Cruzada protagonizada por San Luis de Francia, anterior a la última dirigida contra Túnez– la infanta española Leonor de Castilla acompañó, e incluso salvo la vida cuidándole de una herida envenenada, a su esposo el Príncipe de Gales, que llegaría a ser Eduardo I.

Pero la razón de tal ausencia respecto a las Cruzadas en Tierra Santa acredita la presencia europea de los reinos españoles: pues todos los demás europeos consideraban que España ya tenía su auténtica cruzada en la reconquista territorial contra invasores sirios, árabes y magrebíes, dando cara, en su propio territorio, a los mismos enemigos que, tras haberse convertido al absolutismo islámico, habían cerrado la comunicación con los Santos Lugares.

A su vez, la ayuda europea a la reconquista española se concretó en diversos episodios. En la toma de Toledo por Alfonso VI intervinieron caballeros franceses, italianos y normandos. Escuadras de Génova y Pisa apoyaron, poco después, a Alfonso VII en la conquista de Almería. Más tarde, en la conquista de Granada, estuvieron voluntarios de Alemania, Inglaterra, Francia e incluso un cuerpo de mercenarios suizos, organizado como tropa profesional bajo el estandarte de los reyes, y que inspiraría las tácticas de infantería que más tarde practicó el ejército español en Italia y en Flandes.

En paralelo se ejercía gran colaboración en el ámbito de las profesiones jurídicas y médicas y de los estudios bíblicos. Las universidades españolas que llegaron a pleno esplendor durante el siglo XVI se habían iniciado modestamente, pero con gran eficacia, fundadas en Palencia (1212), Salamanca (1230), Alcalá (1293), Lérida (1300), Perpiñán (1342), Huesca (1359), Valencia (1411), Barcelona (1450), Zaragoza (1474), entre otras. Los profesores procedían de toda Europa llamados por los reyes y obispos fundadores, y no solo de los monasterios y cabildos locales; y los alumnos viajaban a otras prestigiosas universidades europeas (Edimburgo, Bolonia, París, etc.).

Aparte de episodios anteriores, como la alianza del rey asturiano Alfonso II con Carlomagno, al que envió como regalo objetos que había cobrado en la toma de Lisboa, y que apoyó decididamente al monje lebaniego Beato en su polémica trinitaria contra los obispos (cuyas sedes estaban situadas en zonas ocupadas) Félix de Urgel y Elipando de Toledo; la presencia de los reyes españoles no adquirió relevancia continental hasta la toma de Toledo (1085) por Castilla (el rey Alfonso VI puso por gobernador de su alcázar al después legendario Ruy Díaz de Vivar), y de Zaragoza por Alfonso I de Aragón (1118), apoyado por las tropas de su esposa, Urraca de Castilla.

Unas generaciones antes, Sancho III de Navarra y Aragón, casado con Mayor de Castilla (además del compromiso nupcial de su hijo Fernando con Sancha, hija del rey de León y Galicia), fue considerado “Emperador de España”, título que empleó en algún documento Alfonso VI y más tarde Alfonso VII (“Rey de Reyes”).

Alfonso VI de Castilla, el conquistador de Toledo, se veía ya a la altura de los mayores soberanos europeos. Dio sus hijas Jimena y Teresa en matrimonio a los príncipes Raimundo y Enrique de Borgoña, que le habían ayudado en la conquista de varios territorios lusitanos. El gobierno de Enrique en la tierra comprendida entre Duero y Tajo daría origen al posterior reino de Portugal. Él mismo tuvo por esposas a la princesa francesa Constanza, a su muerte a la alemana Berta, y por último a la toledana Zaida, hija del rey Almamún al que concedió el feudo de Valencia. Todos los taifas islamitas pagaban tributo a este rey cuya frontera abarcaba ya desde Medinaceli hasta Ciudad Rodrigo. Durante años fue encargado de cobrar estos tributos el legendario Alvar Fáñez Minaya, compañero del Cid en el *Poema*, a quien ayudaba también el obispo francés Jerónimo, constructor de la catedral de Zamora.

Muy pronto habrá culminado estratégicamente la Reconquista: entre la victoria de Alfonso VIII (Rey de Castilla y Señor de Guipúzcoa y Vizcaya) en Navas de Tolosa (1212), ya en el valle del Guadiana; y la toma de Córdoba, de Sevilla y de Cádiz, dominando la cuenca del Guadalquivir, medio siglo después, por su nieto Fernando III.

Durante los siglos XIII, XIV y XV, las Casas Reales españolas se enlazan fuertemente entre sí, y se extienden también hacia dinastías europeas. Tales entrecruzamientos son debidos más a razones políticas que a pasiones eróticas (muchas veces los novios no se conocían de vista, e incluso pertenecían a generaciones distintas), pero construyen los surcos donde crecerá el destino común europeo (con resultados variables, se verá).

El momento culminante es el desposorio de Fernando III de Castilla con la alemana Beatriz de Suabia, prima del emperador Federico II (siglo XIII). De esta relación provino la causa de que su hijo Alfonso X reclamase durante un largo tiempo el título de Rey de Romanos que le habría propiciado ser tenido seguidamente como emperador. Varios electores le apoyaron en algún momento pero resultó otro pretendiente el preferido.

Esta política de compromisos entre dinastías produjo un juego de cooperación y de rivalidad, alternativamente, según que los intereses territoriales y económicos favorecían a algunos con perjuicio de otros. Sería difícil establecer un balance que no fuera positivo si miramos al modo en que se consiguió la unidad política de la totalidad de los territorios peninsulares y de otros aledaños, en la persona de Felipe II.

El proceso fue muy complejo. A fines del siglo XV, Enrique IV de Castilla se casó primeramente con Blanca, reina de Navarra (que lo dejó como heredero del reino en su

testamento) y luego con Juana, hija de Eduardo de Portugal. En la vertiente aragonesa, Leonor, hija de Juan II de Aragón, fue desposada por Gastón de Foix (cuyos derechos en la Dinastía francesa heredó a su muerte su hermana Germana, con la que se casó en segundas nupcias Fernando el Católico, al que dio un hijo que murió a los dos años de edad). Y herederos de ambos reinos llegaron a ser, tras varias incidencias, Fernando de Aragón e Isabel de Castilla, que por cierto proyectaron su boda tras haberse conocido por retratos y otras referencias que sus amigos les facilitaban y se casaron, esta vez enamorados, en 1469.

En estos intercambios de rehenes-esposas entre diferentes Reinos, podemos hasta seguir la manera en que ciertos nombres se ponían de moda entre las familias principescas. Hubo varias reinas llamadas Blanca: la hija de Carlos II de Anjou casada con Jaime II de Aragón; anteriormente Blanca de Borbón, casada con Pedro I de Castilla.

Además de la esposa de Fernando III, otras Beatriz: su nieta Beatriz casada con Alfonso III de Portugal, y su biznieta Beatriz casada con Alfonso IV de Portugal.

Mucho habría que detallar en estas relaciones entre consortes regios. Alfonso X se hubiera casado con la princesa noruega Cristina si se hubiera divorciado –tal como se proponía– de Violante, hija de Jaime I de Aragón. Fernando IV de Castilla (1279-1325) se casó con Constanza, hija de Diniz de Portugal.

Muchas princesas españolas fueron también desposadas por reyes o príncipes extranjeros. Juan de Gante, Duque de Lancáster, se casó con la hija de Pedro I de Castilla Constanza. Teobaldo II de Navarra con Constanza de Aragón. Luis VII de Francia con Constanza de Castilla. Federico IV de Sicilia con Constanza hija de Pedro IV de Aragón.

Por su lado, el Reino de Aragón, nacido desde el pequeño enclave restante de los indoeuropeos que habitaron España en la antigüedad (Sobrarbe, del latín *super* y del primitivo *arbi*, ambos términos significando “señorío”), se extendió hacia el Mediterráneo cuando Petronila de Aragón (1137-1172) fue desposada, siendo casi una niña, con el conde de Barcelona Ramón Berenguer IV (1131-1162). Ramiro II se casó con Inés de Poitiers, hija del Duque Guillermo IX de Aquitania. Pedro II de Aragón se casó con María de Montpellier y fueron los padres de Jaime I. Pedro III de Aragón con Constanza de Sicilia. Pedro IV de Aragón se casó con María de Navarra y también con la condesa de Urgel, Teresa de Entenza. Jaime I había emparentado, en sus casamientos, con Alfonso VIII y con Alfonso X. Este último enlace le permitió llegar a delimitar pacíficamente su territorio con el Reino de Castilla.

ficamente con su yerno conflictos fronterizos con Castilla, y participar en la conquista de Murcia que pasó a pertenecer al rey castellano.

Jaime II se casó con María, hija de Hugo III de Chipre, y Alfonso V de Aragón con otra María, hija de Enrique II de Castilla.

De este modo, en el siglo XIV estaba fraguada ya una tupida red de dinastías, donde la unidad española se fortalecía sólidamente, aunque algún territorio mantuviera independencia política sin romper la unificación cultural y social existente, como se ve. También se ampliaron fronteras hacia la Francia occitana, hacia Cerdeña, Nápoles y Sicilia, y se emprendieron expediciones bélicas exteriores como fueron la jornada de Túnez (Pedro III), la ocupación progresiva de las Islas Canarias (esta vez por Castilla), y la destrucción de la base pirata de Tetuán (en 1400, hasta que en 1492 fue repoblada por moros expulsados de Granada), antes de que fueran liberadas Ceuta por los portugueses y Melilla por los castellanos.

Entre tanto, diversos idiomas romances derivados del latín se extendían por toda Europa adaptándose a los de otro origen, con diversos matices, en dos aspectos: todo el lenguaje científico se expresaba en latín, así como los ritos cristianos; y los dialectos romances se expandían, según diferentes reglas fonéticas, en el conjunto de los pueblos mediterráneos (dejando el latín de influir tan profundamente en algunos de los germánicos, en los uralo-altaicos y en los eslavos y griegos, mientras coexistía entre los hablantes vasco-aquitano y entre los gaélicos, por ejemplo).

No faltaron tampoco esporádicas relaciones internacionales más allá del ámbito europeo. En 1403, Enrique III de Castilla envió un embajador al tártaro Tamerlán, que estaba conteniendo a los turcos y llegó a derrotar a Bayaceto, en la frontera oriental del Imperio islámico. Mucho más tarde, Carlos V y Felipe II mantuvieron relaciones diplomáticas con el Sha de Persia, buscando también alianzas contra la expansión turca.

Quienes llegaron a emparentar con la mayor parte de los reinos europeos fueron los Reyes Católicos, bajo cuyo reinado se reconquistó la totalidad del territorio peninsular, se puso pie en plazas africanas cercanas a Gibraltar, y sobre todo fue descubierto el continente americano. Su hijo Juan, casado con Margarita de Austria murió sin sucesión efectiva. Su hija Juana, casada con Felipe de Habsburgo (hijo del emperador Maximiliano) fue madre de Carlos I como Rey de España y V como Emperador de Alemania. Su hija María fue esposa del rey de Portugal Manuel (el

Afortunado). Su hija Catalina fue reina de Inglaterra al desposarse con Enrique VIII (aquel despendolado degollador de sus otras esposas, tras haber repudiado a la española). Por su lado, Isabel de Castilla había sido hija del rey Juan II, casado con María, hija del castellano Fernando I de Aragón (elegido Rey por Compromiso entre los diversos territorios aragoneses), el cual sería, a su vez, abuelo de su futuro esposo, el aragonés Fernando...

Tuvo también mucha importancia en la unión peninsular la política de los reinos de Francia y de España con respecto al de Navarra. Situado éste entre aquellos, tenía mucha importancia estratégica a pesar de lo pequeño de su territorio. Blanca de Navarra, que había sido esposa de Enrique IV de Castilla, murió sin sucesión, probablemente envenenada en una conspiración favorable a los intereses franceses. Tras breves intervalos fue reconocida como reina su sobrina Catalina, casada con Juan de Albret (1483). Los Reyes Católicos, a través de una serie de tratados, garantizaron la independencia de Navarra frente a Francia, hasta que la excomunión del Albret por Julio II y el apoyo del rey inglés Enrique VIII permitieron al rey Fernando, alegando los derechos que le competían por parte de su padre Juan II de Aragón, y otros títulos, como el testamento de Blanca de Navarra en favor de su difunto cuñado Enrique IV, asegurar militarmente la mayor parte de su territorio, defendiéndolo contra las posteriores ofensivas francesas hasta el año 1521, y organizar su integración en la Corona española, a través de Castilla, en convenios y proclamaciones celebrados entre 1512 y 1515.

Entretanto la política del rey Fernando se entretejía en planes hegemónicos de amplitud continental. El matrimonio de sus hijos Juan y Juana con sendos hijos del emperador Maximiliano, aliado ya con la República de Venecia, establecía un círculo estratégico que sujetaba las aspiraciones francesas al dominio de la península italiana, donde terminarían fracasando ante la eficacia combativa de la infantería española mandada por Fernando de Córdoba y otros. Pero al mismo tiempo, Fernando el Católico establecía un convenio con el derrotado Luis XII (1506, en Saona, Italia), y, viudo ya de la castellana Isabel, llegaría a casarse con Germana de Foix, hija de una hermana del propio Luis XII.

Las políticas de enlaces dinásticos prosiguieron en España. Carlos V y Felipe II tuvieron esposas portuguesas, entre otras. Felipe III y Felipe IV las hallaron en la Casa de Austria, pero sus hijas casaron preferentemente con reyes franceses, Luis XIII y Luis XIV. Pero eso será historia en otros aspectos, cuando se vean en su conjunto los equilibrios políticos europeos en sus dimensiones más amplias.

Dinámica del equilibrio entre las potencias políticas europeas (siglos XIV-XIX)

La Guerra de los Cien Años había comenzado en 1340 y sus hostilidades duraron hasta 1453. De un lado, Francia aspiraba a completar su unidad territorial, sobre todo en Aquitania y Borgoña. Del otro, Inglaterra trataba de impedir la unión entre Francia y los Países Bajos, mientras asimilaba la incorporación de Escocia.

Sus episodios guerreros tuvieron lugar en toda Europa occidental y también, como veremos, en España. Normandía, Calais, Bretaña, Aquitania, Navarra, Aragón y Castilla fueron teatros de operaciones, aunque la importancia de cada uno respecto a los resultados finales fuera muy desigual en cada caso.

Efectivamente, el rey Carlos V de Francia envió a España mercenarios al mando de Duguesclin para luchar contra Pedro I de Castilla, aliado de los ingleses. Estos, por su parte, enviaron al Duque de Gales, llamado El Príncipe Negro, hijo de Eduardo III, para ayudar a Pedro en contra del bando de los Trastámaras que pretendía destronarlo. Más tarde, los arqueros ingleses ayudaron decisivamente al rey Juan I de Portugal a derrotar a Juan I de Castilla (1385) cuando este había cambiado de bando. Pues aunque Pedro de Castilla estaba casado con la francesa Blanca de Borbón, se había decantado a favor de los ingleses (tras múltiples incidencias dinásticas en que había ofensas personales, aspiraciones sucesorias, etc.). Entonces, Francia apoyó –como se ha adelantado– al pretendiente Enrique de Trastámaras, que mató personalmente al rey Pedro (1369), y la consiguiente alianza franco-castellana llegó a conseguir que la armada española derrotase completamente a la inglesa y subiera por el Támesis hasta Londres (por cierto que el almirante castellano, Pero Niño, se lamentaba de que los marinos vascos acreditados por Castilla para hacer corso contra los ingleses, encontraban más fácil saquear barcos franceses, sin atender a ninguna regla de juego).

También tuvo aquella guerra repercusiones en Aragón. El conde Jaime de Urgel llamó (en ayuda de sus pretensiones a la Corona de Aragón, que se verían defraudadas luego en el Compromiso de Caspe, al que se ha aludido ya) a los ingleses de Aquitania y al rey Enrique IV de Inglaterra, ofreciendo hacer rey de Sicilia al hijo del inglés, Duque de Clarence. Elegido rey en Aragón el castellano Fernando I el de Antequera, este convino con el rey de Francia y con el Duque de York recluir en vida al revoltoso catalán, y así se hizo.

En definitiva, la Guerra de los Cien Años terminó reteniendo los ingleses la plaza de Calais, estratégica en el dominio del tráfico atlántico entre el norte y el sur de Europa.

Otra intervención europea de España, pero esta vez con carácter protagonista, tuvo lugar determinante en la llamada Guerra de los Treinta Años (1618-1648, que continuó entre Francia y España hasta 1652). Su terminación, con la derrota de los Tercios en Rocroi, debilitó la hegemonía de los Austrias (España y Portugal, Países Bajos, Bohemia, Austria, varios electores alemanes, Nápoles y Sicilia) en favor de los Borbones (que apoyaron decisivamente al bando danés-alemán-sueco que había sido derrotado por el bando imperial eficazmente apoyado por los Tercios españoles). Se estableció un nuevo equilibrio, afirmado en el Tratado de Westfalia (1648), a costa de intereses españoles en Centroeuropa, Italia y Antillas, de donde resultaron favorecidos casi todos los demás, especialmente Inglaterra, Holanda, Austria y Francia.

Durante las hostilidades, el territorio danés fue invadido casi totalmente por los imperiales. Acudió en su ayuda el rey de Suecia Gustavo Adolfo II pero su sucesor fue derrotado en Nordlingen (1635). Entonces intervino la Francia de Richelieu, siendo rey Luis XIV. Pactó con varios países para unirlos contra el Imperio. Hizo subleverse contra los Austrias españoles a Portugal y a parte del antiguo Reino de Aragón. Portugal obtuvo su independencia (1668). Los partidarios catalanes de Francia llegaron a proclamar a Luis XIV Conde de Barcelona, pero diversas negociaciones y la capacidad estratégica del Duque de Olivares, terminaron con esa anómala situación en 1653.

Sus consecuencias para España y Portugal no fueron positivas, sobre todo mirando a sus intereses en el continente americano y en la Polinesia. Inglaterra, Holanda y Francia establecieron bases mercantiles y sometieron a su influencia islas o bases militares que redujeron el poder peninsular (Portugal y España) en tales territorios ultramarinos.

Otra gran ruptura del equilibrio pacífico entre Estados europeos tuvo lugar a comienzos del siglo XVIII, tomando como pretexto la sucesión en el trono de España, a la muerte del rey Carlos II.

Tras haber conseguido cierta hegemonía en Europa, la Francia de Luis XIV fortaleció su situación militar con un ejército que alcanzaba unos 400.000 hombres, fortificó sus fronteras con ayuda de ingenieros como Vauban y otros, se impuso progresivamente en territorios anteriormente españoles como Países Bajos, Franco Condado, Ducado

de Luxemburgo y otros. Entretanto, las intrigas partisanas debilitaban aún más el estado de la Corona española bajo el largo reinado de un rey que no conseguía tener hijos.

Medio siglo después del Tratado de Westfalia, el rey español Carlos II, cuñado de Luis XIV, nombró heredero, en su último testamento, a su sobrino segundo Felipe de Anjou, nieto de Luis XIV y de María Teresa de Austria (hija de Felipe IV), y murió en 1699. En la persona de Felipe de Anjou la conexión dinástica hubiera provocado la integración política de España y Francia (España, sus otros territorios europeos y sus colonias americanas y asiáticas hubieran caído en poder de la Corona de Francia). Inmediatamente varias potencias europeas planearon oponerse a tal situación, tras la proclamación como rey, en noviembre de 1700, del nombrado Felipe V de Borbón. El Emperador de Austria, Leopoldo I, hijo de María de Austria, hija de Felipe III (del cual era a su vez nieto Carlos II), promovió una llamada Gran Alianza (Austria, Principados alemanes, Holanda, Inglaterra, Portugal, Saboya y otros) proponiendo como rey de mejor derecho a su hijo Carlos.

Este desembarcó en Lisboa con tropas holandesas e inglesas (1703). Durante las hostilidades siguientes los ingleses se apoderaron de la estratégica plaza de Gibraltar (1704), y de la isla de Menorca (1707), situada frente a las bases navales francesas de Tolón y Marsella. La mayor parte de las autoridades del antiguo Reino de Aragón se pusieron, a su vez, de parte del pretendiente austriaco, que hubiera sido en España Carlos III.

Las grandes batallas tuvieron lugar en territorios de Portugal, España y Países Bajos (territorios fronterizos éstos entre Francia y Austria).

Tras diversas incidencias, de las cuales fueron importantes la renuncia de Felipe V a todos sus derechos dinásticos a la Corona francesa, y la muerte del emperador Leopoldo al que sucedió en su trono el Pretendiente Carlos (desinteresado por tanto de sus simpatizantes españoles); el Tratado de Utrecht (1714) despojó a España de sus dominios en Italia y en los Países Bajos, de Gibraltar y de las más importantes Islas Baleares. Mallorca fue liberada de los ingleses en el año siguiente, y Menorca mucho más tarde, en 1802.

Esto sucedió ya dentro de otro gran conflicto por la hegemonía continental. Tras la decapitación de los reyes franceses en los inicios de la Revolución Francesa (desde 1789), las monarquías europeas reaccionaron y atacaron a Francia por varias fronteras, entre las cuales se hallaba la española. Pero el régimen republicano francés se

asentó bajo la eficacia militar que desarrolló en diversos frentes el general Napoleón Bonaparte (sitio de Tolón, campaña en el norte de Italia, expedición a Egipto, etc.), y que, nombrado primero Cónsul y luego Emperador (coronado en presencia del papa Pío VII), fortaleció la estrategia francesa de aislar totalmente a Inglaterra de su influencia continental, e inició su propia política dinástica de nombrar a sus familiares y amigos reyes de diversos países (Holanda, Suecia, Nápoles y la propia España tras haber tomado como rehenes o prisioneros a los reyes Carlos IV y su hijo Fernando VII de Borbón). Él mismo se casó con la princesa María Luisa de Austria en 1810. A través de diversas decisiones, Napoleón llegó a unificar políticamente Italia y Alemania, eliminando decenas de señoríos y ciudades autónomos existentes hasta entonces. Invadió Rusia alcanzando Moscú en 1812, de donde hubo de retirar luego su ejército casi destruido por los rigores del hambre y del invierno. La ofensiva de los ejércitos ingleses a partir de bases situadas en torno a Lisboa, con colaboración española, terminó, años más tarde, derrotando, al mando del futuro Duque de Wellington, las pretensiones bonapartistas en Waterloo. Entre tanto, la presencia de la armada británica en Gibraltar había permitido que representantes del pueblo español hubieran establecido la Constitución de Cádiz, blindando estratégicamente esta ciudad.

Mas la influencia bonapartista se mantendría en diversas formas, ya en diversas monarquías europeas, ya en la ulterior proclamación de un sobrino de Napoleón, Napoleón III, como Emperador de Francia, hasta que nuevas confrontaciones –esta vez con Alemania ya casi unificada bajo la hegemonía del Rey de Prusia– lo eliminarán del horizonte político en la nueva guerra que terminó con derrota francesa en 1870, donde se alzaba ya la hegemonía europea de un nuevo imperio, el prusiano.

Pero esto es ya casi actualidad. Pronto comenzaría la Primera Guerra Mundial, en 1914.

Expansión mundial de la presencia europea (política, económica, cultural)

A comienzos del siglo XVI las marinas españolas y portuguesa alcanzaban territorios ya conocidos anteriormente (África, Asia, archipiélagos polinesios, y las tierras americanas recientemente descubiertas). Los rusos, por su lado, se extendían al este y norte de los Montes Urales hacia Siberia. Los genoveses y venecianos mantenían su comercio de bienes valiosos hasta el interior del Asia continental. Las potencias mediterráneas rechazaban la invasión turca (España en el sur de Italia ya en 1488)

derrotando su armada en las costas occidentales de Grecia (1571), y habían frenado su avance tras la derrota del rey Luis de Hungría (casado con María, hermana de Carlos V) e impedir más tarde que se apoderaran de Viena.

Pronto comenzaron nuevas organizaciones territoriales en Centroamérica y Sudamérica, que permitieron a las potencias ocupantes extraer grandes riquezas en metales preciosos, así como intercambiar cultivos y explotaciones ganaderas de especies de las que antes carecían tanto Europa como América. España construyó entidades políticas (Virreinatos, Provincias). Portugal (en el territorio brasileño, además de en Asia) y otros países se atuvieron a explotaciones económicas encomendadas a Compañías que las respectivas Coronas fundaban o autorizaban a tal fin, y que también se produjeron en los dominios españoles bajo forma de Encomiendas.

Entre tanto, las armadas británicas establecían puntos estratégicos en Centroamérica, para apoderarse de riquezas transportadas hacia España por su flota. Emigrantes ingleses fundaban colonias en Norteamérica, y franceses en Canadá –sin óbice de que sus piratas tuvieran también bases en aguas caribeñas, para estorbar el tráfico de las flotas españolas o para traficar con esclavos africanos–.

Se establecía así, a nivel mundial, un proceso que anteriormente conocíamos dentro de los límites más estrictamente europeos. Tras de los exploradores llegan conquistadores, luego negociantes, simultáneamente misioneros cristianos, después colonizadores agrícolas, luego fundadores de universidades, constructores de catedrales, creadores de nuevas ideas propiciadas desde la tradición cultural europea.

Ya desde el principio una idea básica fue la de la “igualdad universal de toda la humanidad”, que la tradición cristiana y renacentista definió sin dudas a través de diversas instituciones españolas, desde finales del siglo XV (como se advierte en el documento donde figura el testamento de la reina Isabel) y, tras agudas polémicas doctrinales, a comienzos del siglo XVI.

Una circunstancia relevante fue, por otro lado, el modo en que diversas opiniones de pensadores cristianos produjeron creencias aparentemente incompatibles que dieron juego a muchos poderes políticos europeos, para establecer privilegios y prohibiciones de Iglesias cristianas que se dividían entre “romanas” y “reformadas”. Ello produjo una contraposición doctrinal sobre la inteligencia de la libertad personal y social, que protagonizaron, respectivamente, el clérigo Erasmo de Rotterdam (*De libero arbitrio Diatriba*, 1524) y el fraile agustino Martín Lutero (*De servo arbitrio*, 1525).

Se agudizó también el debate sobre la ciencia en general, entre los doctrinarios y los empíricos. La intransigencia religiosa se clonó bajo forma de intolerancia política. Inquisidores y perseguidores proyectaron sus maquinarias coactivas hacia los nuevos territorios descubiertos. La unificación doctrinal y litúrgica intentada en el Concilio de Trento, antes de mediado el siglo XVI, se quebró en Iglesias nacionales diversificadas según las influencias políticas dominantes en cada territorio europeo. Incluso en las Islas Británicas sedimentaron Iglesias particulares originadas en cuestiones personales y dinásticas.

Un tratamiento intelectual de estos problemas se estratificó con máxima amplitud y gran claridad posteriormente, desde ángulos diversos. Concretamente, el estudio que articula bajo nuevas metodologías la obra del español Melchor Cano *De locis theologicis* (1563) es la más notable expresión de este esfuerzo reintegrador. Pero de poco valieron esfuerzos constructores de paz, como los que conjugaron posteriormente grandes teóricos como Francisco Suárez y Hugo Grocio (primeras décadas del siglo XVII, en vísperas de la ya mencionada Guerra de los Treinta Años, que tan nefastamente instrumentó diferencias eclesiásticas para fortalecer objetivos políticos presentados como incompatibles).

Posteriormente, tras el perfeccionamiento de las técnicas industriales, de la navegación, de la mecánica metalúrgica, de la invención de las máquinas de vapor, de la apertura de canales interoceánicos, y de la asignación de zonas de influencia entre diversos países europeos en el continente africano; la expansión de los intereses mercantiles, económicos, culturales y políticos europeos se produjo con un alcance mundial. En este nuevo horizonte, la independencia, o la recuperación de antigua personalidad política, de distintos territorios americanos, asiáticos y polinesios, en los siglos XIX y XX, respecto a sus antiguas metrópolis, crearon una red de Estados que participaban ya activamente en la actividad global, algunos con personalidad jurídica matizada como sucedía con países del Cercano Oriente, y con las organizaciones quasi-imperiales de la Commonwealth británica o de la Unión Francesa.

Tras la independencia de los países sudamericanos bajo influencia portuguesa y española, el apoyo militar de los EE.UU. de Norteamérica a los sublevados en Cuba y en Filipinas eliminó la anterior presencia política de España en aquellos parajes, pues dicho país americano se apoderó también de la isla de Puerto Rico, en el Caribe, ocupando además las otras islas antes de situar en ellas gobernantes cómplices.

Las escisiones ideológicas internas en España, provocadas por cierta pérdida de conciencia nacional y cultural propia

Un factor muy desfavorable en la participación española en los sucesos del resto de Europa ha sido que, aun cuando no haya actuado directamente –esto casi siempre con resultado nefasto tal como se ha visto a propósito de las Guerras de los Treinta Años, de Sucesión, y de las Napoleónicas–, sin embargo la opinión pública española y las simpatías ideológicas de la gente han solidado tomar partido, entre las diferentes Potencias, cuando había hostilidades entre las mismas. O, lo que es más grave, los intereses culturales o ideológicos predominantes en otros países han generado dentro de la propia España (aunque los factores externos no hubieran significado nada en favor o en contra de los intereses españoles), posiciones políticas encontradas entre sí, mimetizando actitudes y posiciones que tenían lugar en otros países europeos, hasta el punto de asumirse en bandos internos españoles enemistades políticas que se daban en países ajenos.

Este fenómeno ha conducido incluso a guerras civiles que han impedido, durante los siglos XIX y XX, el desarrollo normal de la cultura y de las instituciones sociales y políticas españolas. Pongamos varios ejemplos.

La intervención napoleónica dividió a las instituciones, e incluso al ejército y a la Nobleza, entre el bando francés y el independentista.

La restauración fernandina (1814) provocó la división entre liberales (de simpatía pro-inglesa) y absolutistas (de simpatía pro-francesa), que originó dos guerras civiles, e incluyó episodios de expulsión de los Reyes (1868-1874), e implantación abortiva, primero de una dinastía italiana, y luego de una Primera República semi-federalista y plenamente anárquica.

El desarrollo de la Primera Guerra Mundial produjo la división entre germanófilos y francófilos.

La expansión ideológica de los modelos revolucionarios social-comunista y social-nacionalista trajo consigo, primeramente, la implantación de la Segunda República tras una década de dictadura militar, y posteriormente la revolución marxista-secesionista de 1934 contra la República, y posteriormente el alzamiento social y militar que degeneró en una tremenda Guerra Civil (1936-1939), cuyos gritos extremos eran,

para ambos bandos, los irreconciliables de ¡Arriba España! y de ¡Viva Rusia!, respectivamente.

Prácticamente, tras el régimen dictatorial que siguió al resultado de aquella contienda, y de la postración social, cultural e intelectual de un pueblo debilitado y acaso envilecido tras tantas catástrofes como le han acaecido, y que la implantación del régimen democrático inspirado en la Constitución de 1978 no acaba de superar; la integración de España en la Unión Europea, y la necesidad de integrarse también plenamente en los valores que la progresiva fundación de la actual UE supone, son una bendición celestial que a veces tememos no merecer, pues podríamos aún no estar a la altura que tales responsabilidades suponen.

■ **Conclusión**

Por ello, la concesión del Premio Nobel de la Paz del año 2012 a la UE, es también, para los españoles, no solo un privilegio, sino un estímulo para llegar a merecer este privilegio.

La sintonía cultural y social que la pertenencia a la EU supone para España permite imaginar que el pueblo español en su conjunto adecúe dentro de sí mismo, por fin, el juego de sus instituciones, y sobre todo los contenidos sociales, económicos y morales de sus proyectos políticos; en el sentido de que la paz sea, además de un objetivo ideal, un método pragmático de hacer compatibles, tanto la libertad igual de los ciudadanos, como una cooperación continental comprometida en mejorar los instrumentos de justicia capaces de ampliar horizontes de paz en el mundo contemporáneo.

Premio Nobel de la Paz 2012

LA UNIÓN EUROPEA

Luis Mardones Sevilla

En el enunciado publicado oficialmente por la Academia Sueca (Karolingia), el 12 de octubre de 2012, se declaran los motivos de la concesión del Premio Nobel de la Paz a la Comunidad Europea: contribuir durante más de seis decenios a la promoción de la paz y la reconstrucción, la democracia y los derechos humanos en Europa.

La Unión Europea (UE) es una asociación económica y política singular de 27 países europeos que abarcan juntos gran parte del continente. La UE se fundó después de la Segunda Guerra Mundial. Sus primeros pasos consistieron en impulsar la cooperación económica con la idea de que, a medida que aumentara la interdependencia económica de los países que establecen relaciones comerciales entre sí, disminuirían las posibilidades de conflicto entre ellos. El resultado fue la Comunidad Económica Europea (CEE), creada en 1958, que en un principio supuso intensificar la cooperación económica entre seis países: Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos. Posteriormente, se creó un gran mercado único que sigue avanzando hacia el logro de todo su potencial.

Lo que comenzó como una unión puramente económica, fue evolucionando hasta llegar a ser una organización activa en todos los campos, desde la ayuda al desarrollo y la defensa hasta el medio ambiente. En 1993, el cambio de nombre de Comunidad Económica Europea (CEE) a Unión Europea (UE) no hizo sino reflejar esta transformación.

La UE ha hecho posible medio siglo de paz, estabilidad y prosperidad, ha contribuido a elevar el nivel de vida de los pueblos integrados y ha creado una moneda única europea. Gracias a la supresión de los controles fronterizos entre los diferentes países que integran la UE, ahora se puede viajar libremente por la mayor parte del continente, y también hay muchas más facilidades para vivir y trabajar en otros países dentro de Europa.

La UE se basa en el Estado de Derecho. Esto significa que todas sus actividades se fundamentan en tratados acordados voluntaria y democráticamente entre todos los Estados miembros. Estos acuerdos vinculantes establecen los objetivos de la UE en sus numerosos ámbitos de actividad.

Uno de sus principales objetivos es promover los derechos humanos tanto en la propia UE como en el resto del mundo. Dignidad humana, libertad, democracia, igualdad, Estado de Derecho y respeto de los derechos humanos, son sus valores fundamentales. Desde la firma del Tratado de Lisboa en 2009, la Carta de los Derechos Fundamentales de la UE reúne todos estos derechos en un único documento. Las instituciones de la UE están jurídicamente obligadas a defenderlos, al igual que los gobiernos nacionales, cuando aplican la legislación de la UE.

El mercado único es el principal motor económico de la UE y hace que la mayoría de las mercancías, servicios, personas y capital puedan circular libremente. Otro de sus objetivos esenciales es desarrollar este enorme recurso para que los ciudadanos europeos puedan aprovecharlo al máximo.

A medida que sigue creciendo, la UE continúa esforzándose por aumentar la transparencia de las instituciones que la gobiernan y hacerlas más democráticas. Así, el Parlamento Europeo, elegido directamente por los ciudadanos, aumenta sus competencias y los parlamentos nacionales adquieren más protagonismo al trabajar mano a mano con las instituciones europeas. Los ciudadanos europeos, a su vez, cuentan cada vez con más canales para participar en el proceso político.

La creación del mercado único y el correspondiente crecimiento del comercio y la actividad económica general han convertido a la UE en una potencia comercial de primer orden. La UE quiere mantener el crecimiento económico invirtiendo en transporte, energía e investigación, a la vez que intenta reducir al mínimo la repercusión del desarrollo económico en el medio ambiente.

■ Historia de la Comunidad Europea. Los Padres Fundadores

Los Padres Fundadores de la UE fueron un grupo de personas que inspiraron la creación de la UE. Sin ese liderazgo no existiría hoy el ambiente de paz y estabilidad que se disfruta en Europa. Desde los militantes de la resistencia hasta los abogados, los padres fundadores tenían los mismos ideales: una Europa pacífica, unida y próspera. Además de los padres fundadores que se describen a continuación, muchos otros han trabajado sin descanso para que el proyecto europeo haya llegado a ser una realidad.

Konrad Adenauer, demócrata pragmático e incansable unificador. El primer canciller de la República Federal Alemana, que estuvo al frente del nuevo Estado desde 1949 a 1963, influyó más que nadie en la historia alemana y europea de la posguerra. Piedra angular de la política exterior, la primera tarea que se impuso Adenauer fue reconciliarse con Francia, y colaborando con el presidente francés, Charles de Gaulle, marcó un punto de inflexión en la historia. En 1963, los enemigos de antaño, Alemania y Francia, firmaron un tratado de amistad que fue un verdadero hito en el camino hacia la integración europea.

Joseph Bech, el político luxemburgués que impulsó la creación de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero a principios de los años 50, fue uno de los principales arquitectos de la integración europea a finales de esa década. Un memorando conjunto de los países del Benelux dio pie a la celebración de la Conferencia de Mesina en junio de 1955, allanando así el camino a la Comunidad Económica Europea.

Johan Willem Beyen, fue un político neerlandés, empresario y banquero internacional, que con su *Plan Beyen* dio un impulso al proceso de integración europea a mediados de la década de 1950. Beyen es uno de los miembros menos conocidos del grupo de los padres fundadores de la UE. Quienes tuvieron trato con él lo admiraban por su encanto, su internacionalismo y su habilidad para las relaciones sociales.

Winston Churchill, antiguo oficial del ejército, corresponsal de guerra y Primer Ministro británico, desde 1940 hasta 1945 y desde 1951 hasta 1955, fue uno de los primeros en propugnar la creación de unos *Estados Unidos de Europa*. Tras la experiencia de la Segunda Guerra Mundial, estaba convencido de que solamente una Europa unida podía garantizar la paz. Su objetivo era eliminar las lacras europeas de nacionalismo y belicismo.

Alcide de Gasperi, Primer Ministro italiano desde 1945 hasta 1953 y Ministro de Asuntos Exteriores, trazó la senda del destino de Italia en los años de la posguerra. Promovió numerosas iniciativas para la fusión de la Europa Occidental, colaborando en la realización del Plan Marshall y creando estrechos lazos económicos con otros países europeos, en particular con Francia.

Walter Hallstein, europeo comprometido y resuelto defensor de la integración europea, fue el primer presidente de la Comisión Europea desde 1958 hasta 1967. En sus años al frente de la Comisión Europea, Hallstein dedicó sus esfuerzos a impulsar la rápida realización del mercado común. Su entusiasmo, su energía y su poder de convicción favorecieron la causa de la integración incluso después de su etapa como presidente. Durante su mandato, la integración avanzó significativamente.

Sicco Mansholt fue agricultor, miembro de la resistencia neerlandesa durante la Segunda Guerra Mundial, político nacional y primer Comisario Europeo de Agricultura. Las ideas de Mansholt sentaron las bases de la Política Agrícola Común de la UE, una de las políticas más importantes desde su fundación. Testigo de los horrores de la hambruna que sufrieron los Países Bajos tras la Segunda Guerra Mundial, Mansholt estaba convencido de que Europa debía ser autosuficiente y de que había que garantizar la oferta de alimentos asequibles a todos los ciudadanos.

Jean Monnet, consejero político y económico francés, dedicó su labor a la causa de la integración europea. Fue inspirador del *Plan Schuman*, que preconizaba la fusión de la industria pesada de Europa Occidental. Monnet procedía de la región francesa de Cognac. Tras acabar sus estudios, a los 16 años, viajó por el mundo como distribuidor de coñac y, más tarde, también como banquero. Durante las dos guerras mundiales ocupó cargos importantes de coordinación de la producción industrial en Francia y Reino Unido.

Robert Schuman, estadista reputado, hombre de leyes y Ministro de Asuntos Exteriores francés desde 1948 hasta 1952. En colaboración con Jean Monnet, elaboró el célebre *Plan Schuman*, anunciado el 9 de mayo de 1950, fecha que hoy se considera el día de nacimiento de la UE. Propuso el control conjunto de la producción de carbón y acero, las materias primas más importantes de la industria de armamentos. La idea de partida era que, sin el pleno control sobre la producción de carbón y acero, no era posible librarse de una guerra.

Paul-Henri Spaak, por su dilatada carrera política, este belga ha merecido el título de *Estadista europeo*. Fue una de las personalidades que redactaron el Tratado de Roma. En la Conferencia de Mesina en 1955, los seis Gobiernos participantes le nombraron presidente del comité de trabajo encargado de hacerlo.

Altiero Spinelli, político italiano, fue el principal responsable de la propuesta al Parlamento Europeo de un Tratado sobre una Unión Europea federal, el llamado *Plan Spinelli*. La propuesta fue aprobada en 1984 por amplia mayoría y fue una importante fuente de inspiración para la consolidación de los Tratados de la UE en los años ochenta y noventa.

■ Europa por la paz. Los albores de la cooperación

La Unión Europea nació con el anhelo de acabar con los frecuentes y cruentos conflictos entre países vecinos que habían culminado en la Segunda Guerra Mundial. En los años 50, el establecimiento de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero era el primer paso de una unión económica y política de los países europeos para lograr una paz duradera. Sus seis fundadores fueron Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos. El periodo 1945-1959 se caracterizó por la Guerra Fría entre el Este y el Oeste. Las protestas contra el régimen comunista en Hungría, que se rebela contra el régimen apoyado por la Unión Soviética, son aplastadas por los tanques soviéticos que ocupan las calles de Budapest en noviembre de 1956.

También en 1957 se firma el Tratado de Roma, por el que se constituye la Comunidad Económica Europea o *Mercado Común*.

Las raíces históricas de la UE se remontan a la Segunda Guerra Mundial. Poco después de la guerra, Europa quedó dividida en Este y Oeste dando comienzo a los cuarenta años de la Guerra Fría. Las naciones de Europa Occidental crearon el Consejo de Europa en 1949. Constituía un primer paso hacia la cooperación, pero seis de esos países apostaban por ir más lejos.

El 9 de mayo de 1950, el ministro francés de Asuntos Exteriores, Robert Schuman, presenta un plan para una mayor cooperación. En adelante, cada 9 de mayo se celebra el Día de Europa. Sobre la base del Plan Shuman, seis países firman el 18 de abril de 1951 un tratado para gestionar las industrias pesadas del carbón y del acero de forma común. De este modo, ninguno puede individualmente fabricar armas de guerra para

utilizarlas contra el otro, como ocurría en el pasado. Los Estados miembros originarios son Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y los Países Bajos (figura 1).



Figura 1. Estados miembros fundadores: Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Luxemburgo y Países Bajos.

En 1957, la Unión Soviética bate a los Estados Unidos en la carrera espacial poniendo en órbita alrededor de la Tierra el primer satélite artificial Sputnik 1 a una altitud de 800 km. En 1961, vence de nuevo enviando al primer hombre al espacio, el cosmonauta Yuri Gagarin, cuya nave espacial solo mide 2,6 metros de diámetro.

Sobre la base del éxito del Tratado constitutivo de la Comunidad del Carbón y del Acero, los seis países miembros amplían la cooperación a otros sectores económicos. Firman el Tratado de Roma, el 25 de marzo de 1957, creando la Comunidad Económica Europea, o Mercado Común. El objetivo es que personas, bienes y servicios puedan moverse libremente a través de las fronteras.

En los años 60 surge la *cultura joven*, avivada por grupos musicales como los Beatles que atraen a muchedumbres de adolescentes y contribuyen a estimular una revolución cultural agrandando la brecha generacional. Es un buen momento para la economía, favorecido, entre otras cosas, porque los países de la UE dejan de percibir derechos de aduana por las transacciones comerciales entre sí. También acuerdan

ejercer un control conjunto de la producción alimentaria que garantice un abastecimiento suficiente que, incluso, llega a desembocar en un excedente de producción agrícola. Mayo de 1968 es recordado por la revuelta estudiantil en París, y muchos cambios en la sociedad y los hábitos de vida se relacionan con la llamada *generación del 68*.

En los setenta la UE crece y se registra la primera ampliación. El 1 de enero de 1973, Dinamarca, Irlanda y el Reino Unido entran a formar parte de la Unión Europea, con lo que el número de Estados miembros aumenta a nueve. La guerra árabe-israelí de octubre de 1973 da lugar a una crisis de la energía y a problemas económicos en Europa. Con el derrocamiento del régimen de Salazar en Portugal en 1974 y la muerte de Franco en España en 1975 desaparecen las últimas dictaduras de Europa. La política regional de la UE empieza a transferir grandes cantidades para crear empleo e infraestructuras en las zonas más pobres. El Parlamento Europeo aumenta su influencia en los asuntos de la UE y, en 1979, es elegido por vez primera por sufragio universal.

En los ochenta tiene lugar la caída del muro de Berlín. El sindicato polaco Solidaridad y su dirigente, Lech Walesa, se hacen famosos en Europa y en todo el mundo tras las huelgas de los astilleros de Gdansk en verano de 1980. En 1981 Grecia pasa a ser el décimo miembro de la UE, y, cinco años más tarde, se suman España y Portugal. En 1986 se firma el Acta Única Europea, tratado que constituye la base de un amplio programa de seis años, destinado a eliminar las trabas a la libre circulación de mercancías a través de las fronteras de la UE, y que da origen, por ello, al *mercado único*. El 9 de noviembre de 1989 se produce un vuelco político importante cuando se derriba el muro de Berlín y, por primera vez en 28 años, se abre la frontera entre las dos Alemanias y se reunifica el país.

Los noventa traen una Europa sin fronteras. Con la caída del comunismo en Europa central y oriental los europeos se sienten más próximos. En 1993 culmina la creación del mercado único con las *cuatro libertades de circulación*: mercancías, servicios, personas y capitales. La década de los noventa es también la de dos Tratados: Maastricht en 1993 y Ámsterdam en 1999. Los ciudadanos se preocupan por la protección del medio ambiente y por la actuación conjunta en asuntos de seguridad y defensa. En 1995 ingresan en la UE tres países más; Austria, Finlandia y Suecia. Los acuerdos firmados en Schengen, pequeña localidad de Luxemburgo, permiten gradualmente al ciudadano viajar sin tener que presentar el pasaporte en las fronteras. Millones de

jóvenes estudian en otros países con ayuda de la UE. La comunicación se hace más fácil a medida que se extiende el uso del teléfono móvil y de Internet.

En el siglo XXI las divisiones políticas entre la Europa del Este y del Oeste se dan por zanjadas definitivamente y eso permite que diez nuevos países ingresen en la UE. En septiembre de 2008 una crisis financiera sacude la economía mundial, haciendo que se estreche la cooperación económica entre los países miembros de la UE. El Tratado de Lisboa, que aporta a la UE instituciones modernas y métodos de trabajo más eficientes, es ratificado por todos los países de la UE antes de entrar en vigor el 1 de diciembre de 2009.

El 11 de septiembre de 2001, aviones previamente secuestrados se estrellan contra las torres gemelas del World Trade Center en Nueva York y el Pentágono en Washington, matando a cerca de 3.000 personas. La UE se mantiene firme junto con los Estados Unidos en su lucha contra el terrorismo internacional.

El 1 de enero de 2002, entran en circulación las monedas y billetes en euros. Su impresión, acuñación y distribución exigen una operación logística de gran amplitud. Se ponen en circulación más de 80.000 millones de monedas. Los billetes son idénticos en todos los países. Las monedas tienen una cara común en la que se indica su valor y otra con un emblema nacional. Todas circulan libremente: pagar el billete de metro en Madrid con un euro finlandés (o de cualquier otro país) se convierte en un hecho cotidiano.

El 31 de marzo de 2003, en el marco de su política exterior y de seguridad común, la UE lleva a cabo misiones de mantenimiento de la paz en los Balcanes: en primer lugar en la antigua República Yugoslava de Macedonia y luego en Bosnia y Herzegovina. En los dos casos, las fuerzas de la UE sustituyen a las tropas de la OTAN. A nivel interior, la UE acepta crear de aquí a 2010 un espacio de libertad, seguridad y justicia para todos sus ciudadanos.

El 1 de mayo de 2004, ocho países de Europa Central y Oriental: Chequia, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Hungría, Letonia, Lituania y Polonia, se incorporan a la Unión Europea, poniendo fin a la división de Europa decidida sesenta años antes por las grandes potencias en Yalta. Chipre y Malta se adhieren en 2007 (figura 2).

El 29 de octubre de 2004, los veinticinco Estados miembros firman un tratado por el que se establece una Constitución para Europa con el fin de simplificar el proceso de decisión democrático y el funcionamiento de una Europa de veinticinco países. El

Tratado, que prevé también la creación de un puesto de Ministro Europeo de Asuntos Exteriores, no podrá entrar en vigor si no es ratificado por el conjunto de los veinticinco Estados miembros.

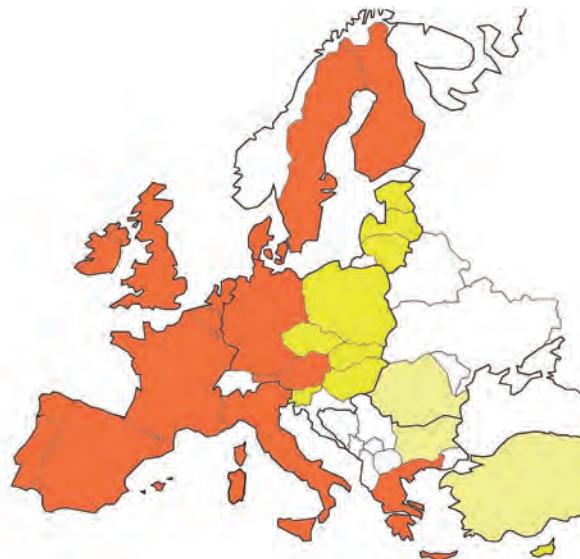


Figura 2

- Estados miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia.
- Nuevos Estados miembros: Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Hungría, Letonia, Lituania, Malta, Polonia y Repùblica Checa.
- Países candidatos: Bulgaria, Rumanía y Turquía.

El 16 de febrero de 2005 entró en vigor el Protocolo de Kyoto, tratado internacional destinado a limitar el recalentamiento del planeta y reducir las emisiones de gas de efecto invernadero. La UE se ha mantenido siempre en la vanguardia de los esfuerzos por reducir los cambios climáticos.

El 1 de enero de 2007, dos países más de Europa Oriental, Bulgaria y Rumanía, ingresan en la UE, que de este modo cuenta ya con 27 Estados miembros. Croacia, la antigua República Yugoslava de Macedonia y Turquía son también candidatos a la adhesión (figura 3).

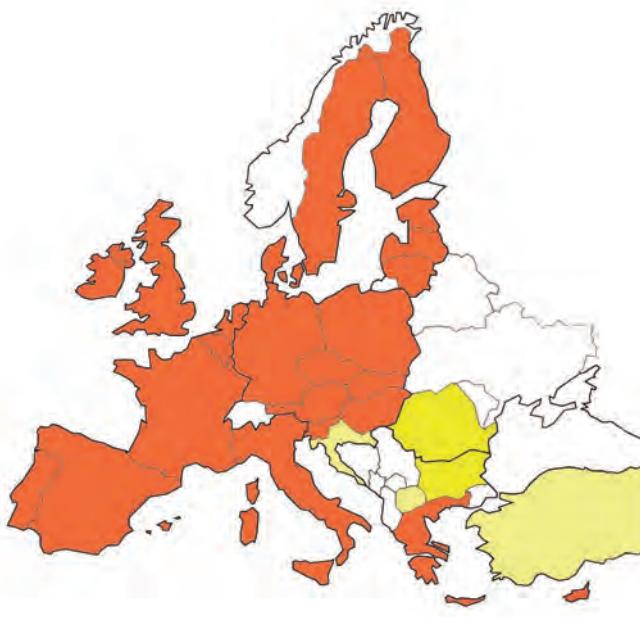


Figura 3

- Estados miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa y Suecia.
- Nuevos Estados miembros: Bulgaria y Rumanía.
- Países candidatos: Croacia, la antigua República Yugoslava de Macedonia y Turquía.

El 13 de diciembre de 2007, los 27 Estados miembros de la UE firman el Tratado de Lisboa, que modifica los tratados anteriores. Su objetivo es aumentar la democracia, la eficacia y la transparencia de la UE, y, con ello, su capacidad para enfrentarse a desafíos globales como el cambio climático, la seguridad y el desarrollo sostenible. El Tratado de Lisboa es ratificado por todos los países de la UE antes de entrar en vigor el 1 de diciembre de 2009.

En septiembre de 2008 una crisis financiera de grandes proporciones sacude la economía mundial. El origen de los problemas son los préstamos hipotecarios en Estados Unidos. Diversos bancos europeos también experimentan dificultades. La crisis da lugar a una cooperación económica más estrecha entre los países de la UE.

La nueva década 2010 arranca con una grave crisis económica, pero también con la esperanza de que las inversiones en nuevas tecnologías ecológicas, más respetuosas con el clima, junto con una cooperación europea más estrecha, produzcan crecimiento y bienestar duraderos.

■ **Por qué en la bandera de la Unión Europa hay solo 12 estrellas**

La bandera de la Unión Europea es el símbolo de la unidad e identidad de Europa en un sentido amplio. El círculo de estrellas doradas representa la solidaridad y la armonía entre los pueblos de Europa. El número de estrellas no tiene nada que ver con el número de Estados miembros. Hay doce estrellas porque el número doce es tradicionalmente el símbolo de la perfección, lo completo y la unidad. Es por esto que la bandera no cambia con las ampliaciones de la UE. En distintas tradiciones doce es un número simbólico que representa la integridad aunque también es, por supuesto, el número de meses del año y el número de horas que aparecen en la cara del reloj. El círculo es un símbolo de unidad. El diseñador, de profundas creencias cristianas, se inspiró en el azul del manto de la Virgen de la Catedral de Estrasburgo, para crear el fondo.



La historia de la bandera se remonta a 1955. La Unión Europea existía solamente bajo la forma de Comunidad Europea del Carbón y del Acero y estaba formada por seis Estados miembros. El Consejo de Europa se había creado varios años antes, con un número mayor de miembros, para defender los derechos humanos y promover la cultura europea. Ambos organismos llegaron a un acuerdo sobre cómo debía ser la bandera común.

El Consejo de Europa animó a otras instituciones europeas a adoptar la misma bandera y el Parlamento Europeo la aceptó en 1983. Finalmente, en 1985, la bandera fue adoptada por los Jefes de Estado y Gobierno de la UE como emblema oficial de la Unión Europea. Todas las instituciones europeas la utilizan desde 1986.

■ **Toma de decisiones en la UE**

El Derecho de la UE es de dos tipos: “primario” y “derivado”. Los tratados (Derecho primario) constituyen la base o las reglas fundamentales de toda la actuación de la UE.

El Derecho derivado, compuesto por los reglamentos, las directivas y las decisiones, nace de los principios y objetivos establecidos en los tratados.

El principal método de toma de decisiones en la UE se conoce como procedimiento legislativo ordinario (antes denominado *codecisión*). En virtud de este procedimiento, el Parlamento Europeo, elegido directamente, debe aprobar la legislación de la UE junto con el Consejo, formado por los gobiernos de los 27 países miembros. La Comisión elabora y aplica la legislación europea.

La UE se basa en el Estado de Derecho. Esto significa que todas las acciones que emprende se basan en los tratados, que han sido aprobados voluntaria y democráticamente por todos sus países miembros. El Tratado de Lisboa amplía los ámbitos en que se utiliza el procedimiento legislativo ordinario. El Parlamento Europeo también tiene capacidad de bloquear una propuesta si no está de acuerdo con el Consejo. Los objetivos de los tratados de la UE se materializan mediante varios tipos de actos legislativos. Entre estos actos legislativos se incluyen los reglamentos, las directivas, las recomendaciones y los dictámenes. Algunos son vinculantes y otros no. Algunos se aplican a todos los países de la UE y otros solo a unos pocos.

Incorporar a nuevos países miembros era algo que ya estaba previsto desde el principio. Los *padres fundadores* tenían la suficiente confianza en su proyecto para dejar la puerta abierta a nuevas adhesiones. Ayudar a los países idóneos a convertirse en Estados miembros viene siendo la respuesta de la UE ante los cambios producidos en el paisaje político europeo a lo largo de los últimos 50 años. De ahí su esfuerzo por fomentar el crecimiento económico y apoyar a las fuerzas democráticas en los países que salen de dictaduras.

■ Requisitos para ingresar en la UE

Según el Tratado de la Unión Europea, puede solicitar la adhesión todo Estado europeo que respete los valores democráticos de la UE y se comprometa a defendelos. A esto hay que añadir una serie de criterios más específicos de tipo político, económico y jurídico:

1. Político: tener instituciones estables que garanticen la democracia, el Estado de Derecho y los derechos humanos.
2. Económico: tener una economía de mercado en funcionamiento y la capacidad de afrontar la presión competitiva y las fuerzas del mercado dentro de la UE.
3. Jurídico: aceptar las normas y prácticas establecidas en la UE y, en particular, los grandes objetivos de unión política, económica y monetaria.

El proceso consta de tres etapas (en cada una de las cuales todos los países miembros en ese momento deben dar su aprobación):

1. Se plantea al país la perspectiva de la adhesión, lo que significa que, llegado el momento, se le reconocerá oficialmente como candidato.
2. El país pasa a ser candidato oficial a la adhesión, lo que no significa que hayan empezado las negociaciones formales.
3. Empiezan las negociaciones formales de adhesión con el país candidato, proceso que para éste suele implicar una serie de reformas a fin de introducir la legislación europea vigente en su propio ordenamiento jurídico.

Una vez terminadas, a satisfacción de ambas partes, las negociaciones y las correspondientes reformas, el país puede ingresar en la UE, siempre y cuando estén de acuerdo todos los países miembros en ese momento.

■ Estados miembros de la Unión Europea en la actualidad, con fecha de adhesión (figura 4)



Figura 4.

Estados miembros: Dinamarca (1973), Eslovaquia (2004), Eslovenia (2004), España (1986), Estonia (2004), Finlandia (1995), Francia (1952), Grecia (1981), Hungría (2004), Irlanda (1973), Italia (1952), Letonia (2004), Lituania (2004), Luxemburgo (1952), Malta (2004), Países Bajos (1952), Polonia (2004), Portugal (1986), Rumanía (2007), Reino Unido (1973), República Checa (2004) y Suecia (1995).

País en vías de adhesión: Croacia.

Países candidatos: antigua República Yugoslava de Macedonia, Islandia, Montenegro, Serbia y Turquía.

Candidatos potenciales: Albania, Bosnia y Herzegovina.

■ El Tratado de Ámsterdam (1997)

El Tratado de Ámsterdam fue aprobado por el Consejo Europeo en Ámsterdam en junio de 1997 y firmado el 2 de octubre de 1997 por los ministros de Asuntos Exteriores de los quince países miembros de la Unión Europea. Entró en vigor el 1 de mayo de 1999 tras haber sido ratificado por todos los Estados miembros, según sus propias normas constitucionales.

Como documento jurídico, tiene como objetivo modificar las disposiciones del Tratado de la UE, de los tratados constitutivos de las Comunidades Europeas (París y Roma) y de algunos actos relacionados con los mismos. No sustituye a los tratados anteriores, sino que se les añade.

El Tratado de Ámsterdam ha sido recibido con abundantes críticas que se pueden resumir esencialmente en las siguientes:

No ha dado una solución a uno de los grandes problemas pendientes de la UE: la adaptación de las instituciones a una Comunidad cada vez más amplia. Unas instituciones pensadas para un número inferior de Estados miembros no son válidas para la *Europa de los Quince* y, mucho menos, para la UE que surgirá con la futura adhesión de países de la Europa central y oriental. Para la opinión más europeísta, no se ha dado un paso lo suficientemente valiente hacia la unidad política, reforzando el poder de las instituciones comunitarias, ni en temas como la PESC o los asuntos de Justicia o Interior (JAI).

No ha solucionado lo que se ha venido a denominar el *déficit democrático* de la UE. Las negociaciones para la consecución de este Tratado han continuado basándose en los tiras y aflojas entre los gobiernos y los estados, sin que hubiera ni participación popular, ni información suficiente y transparente. El papel del Parlamento Europeo, único órgano comunitario elegido por el pueblo, no ha sido suficientemente potenciado. El texto del Tratado sigue siendo bastante complejo –consta de tres partes, un anexo y trece protocolos–, y no es fácilmente inteligible ni para los ciudadanos, ni, incluso, para los agentes jurídicos, económicos y políticos que deben intervenir siguiendo sus normas. Como documento jurídico, el Tratado de Ámsterdam tiene como objetivo modificar ciertas disposiciones del Tratado de la Unión Europea, de los tratados constitutivos a todas esas insuficiencias, y ha supuesto un avance en el camino hacia la unidad europea. Vamos a dividir los avances recogidos en el Tratado en grandes secciones:

Libertad, seguridad y justicia. La Unión respetará los derechos fundamentales tal y como se garantizan en el Convenio Europeo de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales firmado en Roma el 4 de noviembre de 1950, y tal como resultan de las tradiciones constitucionales comunes a los Estados miembros como principios generales del Derecho comunitario.

El Tratado afirma que la UE se basa en los principios de libertad, democracia, respeto de los derechos humanos, de las libertades fundamentales y del Estado de Derecho. Estos principios son comunes a todos los Estados miembros. En este sentido, en 1998, el Consejo Europeo reunido en Colonia acordó que la UE redacte y apruebe una Carta de Derechos Fundamentales. Esta Carta vendrá a *comunitarizar* los principios generales expresados en el Convenio Europeo de Derechos Humanos (CEDH), aprobado en 1950 en el marco del Consejo de Europa.

En lo referente a los *derechos sociales*, la gran novedad la constituye que el Reino Unido, tras la llegada al poder del laborista Tony Blair, se ha adherido al *Acuerdo Social* que iba anexo al Tratado de Maastricht. Este protocolo ha sido incluido en el Tratado de Ámsterdam y, por él, los Estados miembros se comprometen a respetar los derechos sociales recogidos en la *Carta Comunitaria de Derechos Sociales*, aprobada en 1989, conocida normalmente como Carta Social. La UE puede en adelante actuar en los ámbitos de salud y seguridad de los trabajadores, las condiciones de trabajo, la integración de las personas excluidas en el mercado laboral o en la igualdad de trato entre hombres y mujeres. Prevé la posibilidad de que un Estado miembro viole los derechos fundamentales y se regulan los pasos y medidas que puede adoptar la UE contra este Estado. La política de sanciones adoptada por la UE contra Austria en febrero de 2000 por el acceso al Gobierno austriaco de miembros del partido ultraderechista de Jörg Haider, muestra esta actitud general de defensa de los derechos fundamentales y de prevención contra posturas que atenten contra estos derechos.

Se establece el *principio de no discriminación y de igualdad de oportunidades* como una de las directrices básicas de la política de la UE. El Consejo se compromete a adoptar todo tipo de medidas contra la discriminación por motivos de sexo, de origen racial o étnico, religión o convicciones, discapacidad, edad u orientación sexual. También se refuerza el fomento de la igualdad entre hombres y mujeres.

Como la libre circulación de personas hace necesario crear sistemas de información a escala europea, se refuerzan las garantías de protección de datos personales.

La Unión se compromete a establecer progresivamente un *espacio de libertad, de seguridad y de justicia común*. Todo lo que se refiere a la libre circulación de las personas, control de las fronteras exteriores, asilo, inmigración y cooperación judicial en materia civil, pasa a formar parte del *pilar comunitario* en un proceso gradual de varios años. En este sentido, los Acuerdos y el Convenio de Schengen quedan incluidos en el Tratado. El Reino Unido, Irlanda y Dinamarca quedan fuera voluntariamente y, por tanto, se reservan el derecho de ejercer controles sobre las personas en sus fronteras.

■ La Unión y el ciudadano

Además de desarrollar el concepto de *ciudadanía europea*, el Tratado recoge diversas medidas que tratan de poner al ciudadano común en el centro de las preocupaciones de la Unión:

- Se introducen medidas que fomentan la intervención comunitaria en la lucha contra el desempleo, el respeto del medio ambiente y la protección de los consumidores.
- Se garantiza el derecho de todos los ciudadanos a acceder a los documentos de las instituciones de la UE y a comunicarse con ella en cualquiera de las doce lenguas oficiales de la Unión (español, portugués, francés, italiano, inglés, irlandés o gálico, neerlandés, alemán, danés, sueco, finlandés y griego).

■ Política exterior común

La dramática ruptura de Yugoslavia y la vuelta de nuestro continente a la guerra ha mostrado la urgente necesidad de que la Unión se halle en condiciones de actuar y prevenir, y no solamente reaccionar ante los acontecimientos exteriores. La crisis yugoslava puso de nuevo en evidencia la debilidad de los Estados europeos en materia penal, policial y judicial, cuando racismo, xenofobia, terrorismo, tráfico de drogas y armas, trata de seres humanos y delitos contra los niños, corrupción y fraude, siguen incluidos en el tercer pilar de Justicia y Asuntos de Interior (JAI), y por tanto son materia de cooperación intergubernamental. Se fijan diversos objetivos como facilitar la colaboración entre las autoridades judiciales, facilitar la extradición entre los Estados miembros, y fomentar la colaboración policial. Así, se establece un programa gradual de fomento de las actividades de la Europol u Oficina Europea de Policía.

Un importante avance ha sido el que cuatro grandes países europeos, España, Italia, Alemania y Francia, acordaran el 28 de julio de 2000 la eliminación de la obligación de obtener un permiso de residencia a los ciudadanos de la UE. La medida se aplicará a todos los nacionales comunitarios aunque no haya reciprocidad y reaccionen de manera dispersa ante una crisis internacional.

■ **La política exterior y de seguridad**

La historia de la integración europea en asuntos de la defensa y coordinación militar se remonta a los padres fundadores mismos, cuyo principal afán era entonces redimir la voluntad autodestructiva que Europa había llevado hasta sus últimas consecuencias con la Segunda Guerra Mundial; el primer objetivo de la Europa unida debía ser LA PAZ.

La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) puesta en marcha por el Tratado de Maastricht abarca potencialmente todos los ámbitos de la política exterior y de las relaciones internacionales, así como todas las relativas a la seguridad de la UE, incluida una Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD) que se inició con las Misiones Petersberg (Alemania, 1992), de mantenimiento de la paz en coordinación con UEO y OTAN.

Las Misiones de Petersberg forman parte de la Política Común de Seguridad y Defensa (PCSD) y se incluyeron de forma expresa en el artículo 17 del Tratado de la Unión Europea (TUE). El Tratado de Lisboa (artículo 42 del TUE) completa el conjunto de misiones que pueden llevarse a cabo en nombre de la UE. Estas misiones contemplan:

- Misiones humanitarias o de rescate.
- Misiones de prevención de conflictos y misiones de mantenimiento de la paz.
- Misiones en las que intervengan fuerzas de combate para la gestión de crisis, incluidas las misiones de restablecimiento de la paz.
- Acciones conjuntas en materia de desarme.
- Misiones de asesoramiento y asistencia en materia militar.
- Operaciones de estabilización tras la resolución de conflictos.

En estas misiones, los Estados miembros de la UEO ponen a disposición de la propia UEO, de la OTAN, y de la UE, unidades militares procedentes de todo el abanico de sus fuerzas convencionales, con el fin de contribuir a la estabilidad política o al socorro humanitario en terceros países y regiones del mundo.

En resumen; con la firma del Tratado de Maastrich, se abrieron las puertas a los primeros albores de la cooperación militar autónoma a escala europea. Así, en 1992 los ministros de Defensa de las Comunidades de entonces, se reunieron en la ciudad alemana de Petersberg y acordaron la creación de un marco de cooperación militar autónomo de la OTAN, si bien muy coordinado con esta, para el desarrollo de determinadas misiones de paz o humanitarias en terceros países. Estas operaciones, que en algunos casos y particularmente en los Balcanes mostraron su utilidad, fueron bautizadas con el nombre de Misiones Petersberg. No sería hasta 1999, con la entrada en vigor del Tratado de Ámsterdam, que en Europa se planteara abiertamente la articulación de una política común de defensa y, sobre todo, la perspectiva de la adopción de una Política Exterior y de Seguridad Común (PESC). El Tratado de Ámsterdam instituyó la Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD), la vertiente operativa armada de la PESC, con la que se abría la posibilidad de crear posteriormente una estructura común de defensa. La entrada en vigor del Tratado de Lisboa rebautizó esta política, significativamente, con el nombre actual de Política Común de Seguridad y Defensa (PCSD), y reforzó significativamente sus capacidades y sus instrumentos de actuación real al abrir la posibilidad de establecer una cooperación estructurada permanente entre los Estados miembros más dispuestos y mejor dotados en materia de armamento y capacidades defensivas.

Particular relevancia tiene la llamada *cláusula de defensa común* contenida en el apartado 7º del artículo 42 del Tratado de la UE, de acuerdo con la cual si un Estado miembro es objeto de una agresión armada en su territorio, los demás Estados de la Unión *deberán* prestarle ayuda y asistencia *por todos los medios a su alcance*. Esta cláusula, adoptada con la entrada en vigor con el Tratado de Lisboa, se inspira nítidamente en la que contiene, en parecidos términos, el Tratado del Atlántico Norte.

Javier Solana, antiguo ministro español y ex-secretario general de la OTAN, ha sido en 1999 el primer europeo designado como Alto Representante para la PESC, que tenía también el cargo de Secretario General del Consejo de la UE, encargado de asistir al Consejo en las cuestiones que correspondieran a la PESC y de contribuir a la formulación de una política exterior comunitaria. Su principal función ha sido la de personificar en un cargo concreto la aún naciente política exterior y de seguridad de la

UE. Solana también fue nombrado en 1999 Secretario General de la Unión Europea Occidental (UEO).

La Eurofuerza Operativa Rápida (Eurofor) es una fuerza terrestre multinacional de reacción rápida, no permanente, de composición variable acorde con la misión que se le asigne, hasta una entidad máxima de división ligera de fácil despliegue. La aportación de cada país puede variar desde una unidad tipo batallón a una brigada ligera, además de unidades de apoyo que se agruparían de forma complementaria entre sí. Las unidades que conformarían la Eurofor están previstas para cada tipo de misión y se encuentran en sus acuartelamientos nacionales disponibles para su activación. Está compuesta por fuerzas de Francia, España, Portugal e Italia. Tiene una cúpula permanente capaz de comandar distintas operaciones que incluyan pequeñas divisiones de respuesta inmediata. Se formó en el año 1995, y respondía directamente a la UEO. Tiene como principal objetivo cumplir con las tareas Petersberg, que son generalmente misiones del tipo humanitarias y de pacificación. La aparición de la Eurofor se ha transformado en una parte importante del Programa Europeo de Seguridad y Defensa.

■ **Javier Solana, Secretario General de la OTAN (1995-1999) y Alto Representante para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad de la Unión Europea (1999-2009)**



En 1995, Solana se convirtió en el nuevo secretario general de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), reemplazando a Willy Claes, quien se había visto obligado a dimitir por un escándalo de corrupción. Javier Solana fue Secretario General del Consejo de la Unión Europea desde octubre de 1999 hasta noviembre de 2009. Este cargo llevaba aparejado el de Alto Representante para la Política Exterior y de Seguridad Común, conocido popularmente como *Señor PESC*. Con este cargo se convirtió en la principal cara de la diplomacia de la Unión Europea, si bien la Comisión Europea contaba con su propia cartera sobre relaciones exteriores.

Con el Tratado de Lisboa adoptado bajo Presidencia portuguesa, en la UE se estableció que las atribuciones del cargo de Alto Representante del Política Exterior y Seguridad Común las asumiese un Ministro de Exteriores de la UE. Este Ministerio ha asumido las competencias del Comisario de Asuntos Exteriores y del Alto Representante y su titular ha pasado a ostentar una de las vicepresidencias de la Comisión Europea.

El Presidente del Gobierno español entonces, el socialista José Luis Rodríguez Zapatero, propuso la iniciativa de que el Ministro de Exteriores mantuviese su denominación, es decir, Alto Representante para la Política Exterior y Seguridad Común a causa de las reticencias generadas en el Reino Unido que consideró que su soberanía podría verse afectada. Esta iniciativa del Jefe de Gobierno español no encontró oposición y fue aceptada por los miembros de la Unión; de esta forma, el responsable de las relaciones de la Unión recibió la denominación de Alto Representante de la Unión para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad. Pese a las suspicacias generadas en el Reino Unido, el Alto Representante ostenta las atribuciones previstas en el Tratado que se modificó en Portugal en 2007.

El 5 de julio de 2009, Solana anunció que no renovaría en el cargo como Alto Representante de la Política Exterior y de Seguridad Común. El 19 de noviembre de 2009 le sustituyó la británica Catherine Ashton, asumiendo las competencias previstas por el Tratado de Lisboa.

El 17 de mayo de 2007, Javier Solana recibió el Premio Carlomagno de la ciudad de Aquisgrán, que distingue a personalidades por sus servicios a la unidad y el progreso de Europa y por su contribución a la paz. El 22 de enero de 2010, el rey Juan Carlos I le nombró Caballero de la Orden del Toisón de Oro como reconocimiento a su trayectoria diplomática.

Javier Solana es una de las figuras políticas más importantes de la democracia española tanto por su proyección nacional como por su papel vital en el desarrollo de las relaciones internacionales. Ha sido uno de los responsables máximos de dos de las organizaciones supranacionales más importantes del mundo: la OTAN y la UE.

■ **La reforma de las instituciones comunitarias**

En la perspectiva de la aún pendiente reforma institucional, totalmente necesaria ante la ampliación de la UE a los países de Europa central y oriental, el Tratado de

Ámsterdam ha ampliado las competencias del Parlamento Europeo, ha introducido algunas reformas en el funcionamiento de la Comisión y el Consejo de la UE y ha reforzado las funciones del Tribunal de Cuentas, del Comité Económico y Social y del Comité de Regiones.

Un hecho clave es que se ha abierto la posibilidad de lo que se ha venido en denominar *cooperación reforzada* entre algunos Estados miembros. Es decir, la posibilidad de que un grupo de países que quieran ir más lejos de lo previsto en los Tratados en la integración en diversos aspectos, puedan hacerlo en el marco de la UE. Se trata en definitiva de que el ritmo de la integración no lo marquen los países más reacios y que aquellos Estados deseosos de ceder más competencias a la UE puedan caminar más rápidamente en el camino de la unidad. Muchos han denominado a la Europa que surgiría de la aplicación de estas *cooperaciones reforzadas* de muy diversas maneras: *Europa a la carta* o *Europa de distintas conciencias*. La insuficiencia de las reformas institucionales acordadas hizo que en el mismo tratado se acordara la convocatoria de una Conferencia Intergubernamental (CIG), para hacer una revisión general de las instituciones de la Comunidad, antes de que la UE llegara a tener más de veinte velocidades, o una Europa de *geometría variable*.

■ **La UE es esencialmente un proyecto de paz**

La memoria de las dos guerras mundiales sigue pesando en la conciencia colectiva europea. La reconciliación franco-alemana es lo que ha guiado desde el principio el proyecto de integración europeo. Sin duda, la UE ha logrado lo que se proponía. El escenario de guerra es hoy impensable y Francia y Alemania son dos socios con una alianza sólida.

Además, se ha conseguido rehabilitar a Alemania tras desencadenar dos guerras mundiales. Estos son los motivos principales en los que se sustenta la concesión del Nobel, y es el mejor argumento para sostener lo merecido de este Premio. Tras la caída del Muro de Berlín, los Estados de Europa del Este se presentaron como un enorme reto para la Europa occidental. La estabilización y democratización de la mitad oriental de nuestro continente han sido posibles gracias al marco de la UE y a la meta que suponía para todos estos países la integración en la familia europea.

La UE ha hecho posible más de medio siglo de paz, estabilidad y prosperidad, que han contribuido a elevar el nivel de vida y ha creado una moneda única europea.

■ Referencias

[http:// la vanguardia.com.internacional](http://la-vanguardia.com/internacional)

[http:// el siglo de torreón.internacional](http://el-siglo-de-torreon.internacional)

[http:// el economista.com](http://el-economista.com)

[http://expansión.com](http://expansion.com)

[http://nobel price.org](http://nobel-prize.org)

[http://es www.wikipedia.org/wiki/comunidad europea](http://es.wikipedia.org/wiki/Comunidad_Europea)

[http://es wikipedia.org/wiki/seguridad y defensa de la UE](http://es.wikipedia.org/wiki/Seguridad_y_Defensa_de_la_UE)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza Operativa Europea](http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_Operativa_Europea)

Premio Nobel de Economía 2012

LAS TEORÍAS DE REDISEÑO DE LOS MERCADOS

Rafael Morales-Arce Macías



Alvin E. Roth



Lloyd S. Shapley

■ Introducción

La Real Academia Sueca de las Ciencias anunció el pasado mes de octubre la concesión de los Premios Nobel de Economía 2012 a los investigadores norteamericanos Alvin E. Roth y Lloyd S. Shapley, por sus estudios y análisis sobre “la teoría de las asignaciones estables y la práctica de diseños de mercados”, como ha señalado el secretario permanente de la institución, Stefan Normark. Este campo del saber, conocido por algunas escuelas como “ingeniería económica”, guarda una gran relación con las aplicaciones derivadas de la clásica Teoría de los Juegos, uno de los principales instrumentos que la Investigación Operativa –rama de la Matemática muy ligada a la Microeconomía y a la Economía de la Empresa– acogió en su seno desde los años sesenta del pasado siglo.

Se ha destacado que la contribución de los galardonados a la solución de los problemas de la vida real, alguno de los cuales, resaltado en la información de la



La Real Academia de las Ciencias de Suecia anuncia a los galardonados con el Premio Nobel de Economía del año 2012.

Academia, se refiere, por ejemplo, a la selección de médicos para integrarlos en una institución hospitalaria, acorde a sus capacidades y preferencias; la selección del alumnado que solicita la admisión en centros docentes públicos de Boston, Chicago o Nueva York, o, finalmente, la asignación de órganos que serán trasplantados a pacientes que lo han solicitado, tareas, todas ellas, que requieren un proceso objetivo de adjudicación que salvaguarde los derechos y prioridades consiguientes. En tal caso, y para limitar los supuestos de incompatibilidad, "diseñaron el proceso denominado "Top Trading Cycle", un auténtico ejercicio de ingeniería económica para asignación de recursos, que descansa en el concepto de estabilidad, primero, para asignar órganos y, a continuación, sugerir una cadena de intercambios que neutralice los riesgos de inadecuación" (Sanz, 2012).

Este tipo de decisiones parte de una idea elemental: que las necesidades suelen ser de tamaño infinito y los recursos o posibilidades son limitados, por lo que la existencia de un proceso de optimización entre oferta y demanda es una vía aconsejable, a semejanza de lo que sucede en las decisiones adoptadas en las instituciones privadas de carácter mercantil.

Este tipo de investigaciones, como hemos dicho, sigue la línea de reconocimiento a investigaciones relacionadas con la Teoría de los Juegos, que en años anteriores justificaron la concesión del Premio a John F. Nash y Reinhard Selten (1994) y Thomas C. Schelling y Robert J. Aumann, que lo recibirían once años más tarde. Se considera, por otra parte, que sus investigaciones no eran algo abstracto exento de aplicabilidad. Al

contrario, los procesos de asignación aquí reconocidos no son otra cosa que el convencimiento de su aplicabilidad a diferentes campos, aunque no seamos conscientes de ello.

En la decisión de la Academia primó la importancia en el deseo de los investigadores de hacer compatibles, a través de sus modelos, las necesidades de unos con las aspiraciones de otros, siempre en un entorno de mercados imperfectos con condiciones dadas. Las asignaciones sugeridas, conocidas como “asignaciones estables”, parten de la premisa de que el sistema no siempre funciona con limitaciones éticas, legales o derivadas de otras circunstancias.

El denominado “algoritmo de Shapley” facilitaba lo que se conoce como “asignaciones estables”, algo que después validaría Roth, y que supondría la resolución de un problema económico central: cómo hacer coincidir, de la mejor forma posible, los intereses de los distintos agentes.

Ambos galardonados han sido claramente originales en sus planteamientos, desarrollados de manera independiente, poniendo de manifiesto, además, la rápida asimilación que sus trabajos merecieron en diferentes entornos sociales y económicos.

Aparte de los agraciados, eran candidatos, entre otros, Stephen Ross, profesor en la Universidad de Yale, muy conocido en nuestro medio por sus investigaciones y docencia en la disciplina de Finanzas Corporativas, materia de la que es coautor en una serie de manuales de la más alta calidad académica. También, Robert J. Schiller, igualmente docente en aquella Universidad, quien estuvo recientemente en España atendiendo a una invitación de la Fundación Rafael del Pino, disertando sobre “Las finanzas en una sociedad justa”, una obra en la que se afirma la máxima “Dejemos de condenar a los sistemas financieros, y, por el bien común, recuperémoslos”, de tanta actualidad en un mundo como el de hoy, azotado por la crisis y con buena parte del sector en la diana de la acusación de responsabilidad por el protagonismo que han tenido y tienen en esta situación. Es digno recordar su autoría en la creación del Índice Case-Schiller sobre el mercado inmobiliario, que, ya en el año 2006 adelantaba la aparición de la denominada burbuja inmobiliaria.

■ Alvin E. Roth

El primer galardonado, Alvin Elliot Roth, de 60 años, realizó sus estudios universitarios en la Universidad de Harvard y el Doctorado en Investigación Operativa en la

de Standford en 1974. Ejerce la docencia en la Harvard Business School, en cuya nómina figura como profesor de economía. Es especialista en modelos matemáticos, estadísticas y algoritmos para apoyar la toma de decisiones de asignación y con un gran número de aportaciones prácticas para el diseño de los mercados.

Roth identificó el valor de las aportaciones de su compañero de Nobel y las llevó a la práctica diseñando modelos que hoy son de aplicación generalizada en todo el mundo. Ya en 1991 escribía que el éxito de sus investigaciones no era solo en la comprensión de los principios que rigen las relaciones económicas, sino en la capacidad de poner en práctica medidas de ingeniería económica (Villar, 2012).

Sus principales publicaciones han sido *Games-Theoretic Models of Bargaining* que publicó Cambridge University Press en 1985, como aplicación de la Teoría de Juegos a los modelos de contratación; *The Shapley Value: Essays in honor of Lloyd S. Shapley*, homenaje a su compañero de Nobel, que publicara Cambridge University Press en 1988, y, finalmente, *Handbook Experimental Economics*, escrita con J.H. Kagel, y publicado por Princeton University Press en 1997.

■ Lloyd S. Shapley

El segundo galardonado, Lloyd Stowell Shapley, de 89 años, realizó sus estudios de Matemáticas y Economía en la Universidad de Harvard, aunque por sus obligaciones militares hubo de interrumpir sus estudios para incorporarse a la Segunda Guerra Mundial, en la que fue condecorado con la Medalla de Bronce por su habilidad en el descifrado de códigos encriptados. Tras su licenciamiento, prestó servicios profesionales en la Corporación RAND. En la Universidad de Princeton realizó sus estudios de Doctorado, que culminó en 1953, siendo contratado posteriormente por la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA), de la que actualmente es profesor emérito.

Shapley protagonizó aportaciones importantes sobre varios teoremas y soluciones especialmente relacionados con derivaciones de la Teoría de los Juegos, habiendo dado nombre a media docena de teoremas, algoritmos e índices.

Una de sus más comentadas aplicaciones fue la idea desarrollada en 1962 sobre el método para la formación de parejas hombre-mujer que, de acuerdo con sus preferencias individuales, deseaban contraer matrimonio. Pero la realidad demostraba que

la opción de emparejar a cada uno con su elección favorita no funcionaba, bien porque varias mujeres preferían al mismo hombre, o viceversa.

Para superarlo, creó un algoritmo denominado “de aceptación diferida”, significativo de que, en la primera ronda, si una mujer recibía una sola propuesta, se comprometía a aceptarla. Si hubieren sido más de una, podría elegir su favorita. En una segunda ronda, los hombres rechazados por su primera opción, podrían proponer elegir a la segunda mujer de su lista. Y así sucesivamente.

Shapley fue considerado por Robert Auman (Nobel en 2005) como uno de los más grandes teóricos de la Teoría de los Juegos de todos los tiempos, alta estimación que se complementaba con la realizada por su colega Roth, y otros investigadores, tales como, Raghavan, Fergusson, Parthasarathy y Vrieze, en su clásica obra *Stochastic Games and Related Topics: In Honor of Professor L. S. Shapley*, publicada en 1990.

Sus publicaciones más importantes han sido: *A Value for n-person Games*, 1953, dentro del volumen dedicado a las contribuciones a la Teoría de los Juegos; *College Admissions and the Stability of Marriage*, que lo hiciera en 1962, con la colaboración de David Gale, y publicada en *The American Mathematical Monthly*; “Values of Non-Atomic Games”, con Robert Aumann, que apareció en 1974 y publicó Princeton University Press; “Mathematical Properties of the Banzhaf Power Index”, con Pradeep Dubey, publicada en 1979 en el volumen IV de *Mathematics of Operations Research*, y “Long-Term Competition –A Game– Theoretic Analysis” publicada en 1994, también con Robert Aumann, y publicada en *In Essays in Game Theory: In Honor of Michael Maschler*.

■ Recuerdo a la Teoría de los Juegos

Por la estrecha relación que han tenido estos investigadores con esta Teoría, y para ilustración de los lectores, nos permitimos recordar sumariamente algunas de las características de la misma, cuyos conceptos matemáticos básicos se formularon por Newman en 1928, si bien los juegos en el entorno militar se conocían desde mediados del siglo XIX.

Posteriormente, ya en 1944, Neumann junto a Morgernstern publicaron su clásico *Theory of Games and Economic Behavior* que impactó en el desarrollo de la modeliza-

ción de las decisiones competitivas, la Teoría de la Decisión y la Programación Lineal (Churchman *et al.*, 2012, pag. 509). Sus aspectos básicos son los siguientes:

Aunque los juegos pueden clasificarse como competitivos y no competitivos, la Teoría se relaciona fundamentalmente con los primeros, en lo que se considera que hay dos bandos, cada uno de los cuales tiene como misión lograr su objetivo a expensas del otro.

La Teoría estudia la implicación de modelos –juegos– en los cuales las acciones de cada agente afectan directamente a los otros agentes (Serrano, 2012), teoría que se confronta con la Microeconomía clásica de los mercados competitivos, en la que cada agente se describe como infinitesimal a la hora de afectar a los volúmenes del intercambio y los precios.

El objetivo común se denomina “estado final”, y su desarrollo viene limitado por las reglas del juego, complejas e intuitivas, caso de las guerras, o, precisas, como en el caso del ajedrez. Cada jugada tiene un conjunto de elecciones, cuya selección recibe el nombre de movimiento. La jugada es la secuencia de las elecciones que nos conduce a dicho estado final.

Los juegos pueden ser de “suma nula o no nula”. En los primeros, la cantidad que uno paga equivale a la cantidad recibida por el otro. En caso contrario, se llama de “suma no nula”.

Hay juegos que tienen un denominado “punto de silla”, en los que la estrategia que maximiza las ganancias de un jugador minimiza las pérdidas del otro. En tal caso, el valor del juego es la unidad (Fletcher *et al.*, pags. 205-207).

La Teoría de los Juegos no intenta describir como debería desarrollarse un juego, sino que se ocupa de los procedimientos y principios por los que deben regirse las jugadas. Por tanto, es una Teoría de Decisión solo aplicable a situaciones competitivas (Churchman *et al.*, pag. 510).

Finalmente, se destaca que, a pesar de las limitaciones de la Teoría, la mayor contribución hasta ahora habría sido intangible, aunque permitía a las personas que se enfrentaban a la búsqueda de soluciones a problemas muy complejos la obtención de un marco adecuado en que situarles. Los conceptos de estrategia, las distinciones entre jugadores, el papel de los acontecimientos aleatorios, la noción de matriz como

representación de los pagos, los conceptos de estrategia puras y mixtas, etc., dan una valiosa orientación a las personas que tienen que pensar sobre situaciones complicadas de conflicto (Churchman *et al.*, pags. 506-507).

Con posterioridad, han sido muchos los logros derivados de la Teoría, algunos de los cuales se han puesto aquí de manifiesto. Con el riesgo de simplificar, se ha estimado que, junto a la Teoría del Equilibrio General, permite aclarar en qué circunstancias funciona lo que los economistas conocen como la “mano invisible”, además de otras importantes cuestiones como la maximización del mercado monopolista; el equilibrio en el oligopolio; la negociación de las externalidades; el diseño de mecanismos para la provisión de bienes públicos, etc., aspectos, todos ellos, que encuentran su acomodo en la Teoría de los Juegos (Ferreira, “La Teoría”).

■ **Las reacciones en el entorno español**

La concesión de los Premios Nobel no pasa desapercibido en nuestro entorno. El reconocimiento a logros de aplicación en el campo de la Economía, así como la personalidad de los galardonados, ha sido siempre objeto de atención. Este año no podía ser menos.

Para Fernández Villaverde, catedrático de la Universidad de Pennsylvania e investigador de FEDEA, el galardón se otorga a un área poco conocida: la asignación de recursos cuando la correlación entre los distintos intervenientes se considera de gran complejidad. Por ejemplo, la clásica asignación de graduados en Medicina a los hospitales en que desean realizar su periodo de prácticas. Shapley ha demostrado ser un pionero en el diseño de herramientas de la Teoría de Juegos cooperativos para obtener mecanismos eficientes de asignación (Fernández Villaverde, 2012).

Por su parte, Villar, catedrático de Fundamentos del Análisis Económico en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, considera que el tema común de las investigaciones de Shapley y Roth es: ¿Qué pasa cuando no hay precios –en el sentido de la Teoría Económica– o cuando las dos partes de una negociación no se ponen de acuerdo con respecto al valor del bien objeto de una transacción? Y, de manera particular, valora muy especialmente los problemas que han resuelto sus investigaciones, como la asignación en los transplantes de órganos; la selección de alumnos para su distribución entre los diferentes centros de enseñanza; el cálculo de la repercusión de costes fijos en la industria entre los usuarios; la asignación de las frecuencias radioeléctricas

entre los diversos peticionarios; o el reparto de excedentes entre los socios de una cooperativa (Villar, A., 2012). Temas, todos ellos, de gran importancia en el mundo real, que han supuesto una efectiva contribución de los galardonados a la objetivación de decisiones que pueden representar un alto grado de rechazo si no se realizan con la equidad adecuada.

Sanz Caballero, profesor de la Facultad de Derecho de ESADE, considera que se reconoce una contribución a la solución de problemas básicos de la Economía, con su aplicación específica a mercados y agentes. De manera particular destaca el algoritmo Gale-Shapley, utilizado para la localización de pareja sentimental dentro de un grupo constituido al efecto, o, para la selección de empresas en las que los aspirantes a un empleo desean trabajar, o recíprocamente. En definitiva, estos ejemplos revelan una clara alternativa a la reducción de la desigualdad mediante una buena gestión de la información previa, que presupone voluntad de conocimiento de los demás, con gran sentido en el mundo de hoy (Sanz Caballero, 2012).

Dorronsoro, por su parte, considera que el reconocimiento a las aportaciones de la Teoría de Juegos se hace por haber facilitado respuestas a preguntas tales como “quién consigue qué y por qué”, o por ofrecer soluciones para asignar adecuadamente los recursos en mercados bilaterales. Pero también por sus eficaces contribuciones a relacionar teorías abstractas de las “asignaciones estables” al diseño práctico de las instituciones mercantiles (Dorronsoro, L., 2012).

Juan Tugores, catedrático de la Universidad de Barcelona, estima que los galardonados se han distinguido por sus aportaciones al diseño de mecanismos y reglas que afronten la consecución de resultados eficientes que puedan racionalizarse y presentarse como justos para los participantes, como ya ocurriera en años anteriores para estudios similares. “El valor del juego”, en la expresión de Shapley, que coadyuva a la obtención de un resultado que debe distribuirse entre varios participantes en función de la contribución efectiva de cada uno, es uno de los objetivos de tal asignación, que debe ser razonablemente aceptable y que minimice las posibles controversias, en especial, si se superan tentaciones de favoritismo o parcialidad que subyacen siempre en la toma de decisiones complejas. Finalmente, considera que en esta edición de los Premios, la Academia ha apostado por superar los denominados “tests de eficiencia y equidad”, esperando que, a partir de ahora, continúe por este camino (Tugores, J. 2012).

Para Roberto Serrano, profesor de la Universidad de Brown y experto en la Teoría de Juegos que impulsara el Nobel John Nash, sostiene que la última meta de una

disciplina científica debería ser la contribución a la resolución de problemas de la vida real, aunque no siempre se encuentran soluciones *ad hoc* a cuestiones actuales, como la crisis que nos afecta desde el año 2007. Estima que tanto aquella como la de diseño de los mercados han sido dos revoluciones importantes dentro del pensamiento económico, utilizando esta última la Teoría de Juegos para facilitar el diseño de instituciones económicas específicas que mejoren el funcionamiento de los sistemas. Y que aunque subsistían dudas que en sectores en los que la tasación de intercambios en términos de dinero podría colisionar con cuestiones éticas, no parecía claro que los trabajos condujeran a soluciones aceptables. Sin embargo, y a pesar de estas reservas, Roth demostraría que las aplicaciones tenían lugar, igualmente, con gran éxito (Serrano, Roberto, 2012).

Pin Arboledas, economista del IESE, por su parte, destaca que la Academia Sueca ha premiado la solución un problema económico central: “cómo ajustar diferentes agentes de la mejor manera posible”. Ejemplos de esas asignaciones como “el nombramiento de nuevos médicos en los hospitales, la admisión de los estudiantes en las escuelas o la asignación de los órganos que se van a transplantar a los receptores” tienen posteriores aplicaciones en los mercados económicos, como destacaba el portavoz de la institución. Por otra parte, considera que es un reconocimiento a la utilización de la estadística en la ciencia económica, con la ventaja de que profundiza en las leyes del mercado y en la consecución de la eficiencia de estos, aunque tiene el inconveniente de que no cambia el modelo de análisis de la realidad que no está dando los resultados esperados. El modelo, basado en la Teoría del Mercado, pone de manifiesto que la ciencia económica está en un callejón sin salida en estos momentos, en el que la teoría dominante impide ver otras realidades, en las que sus portavoces principales lo sitúan marginalmente (Pin Arboledas, J.R., 2012).

Finalmente, Pedro Schwartz, catedrático emérito de Historia del Pensamiento Económico, estima que los galardonados han sido reconocidos por sus trabajos sobre “asignaciones estables” en mercados en los que el equilibrio no se consigue a través de los precios. Adicionalmente, escribe que las soluciones espontáneas aparecidas en los mercados son, frecuentemente, subóptimas e inestables. Sin embargo, los trabajos de Shapley-Gale alcanzaron un método que facilitaba acercarse al óptimo, que no quiere decir “perfecto” sino menos malo. Tal instrumento se denominó “algoritmo Gale-Shapley”, esto es, un proceso iterativo con el que van probándose distintas soluciones numéricas. A diferencia de lo que ocurre con las predicciones macroeconómicas, que nos inducen a pensar que la Economía no es una ciencia cierta, cuando tales predicciones se verifican solo en plazos largos, este tipo de algoritmos puede ser

inmediatamente verificable tanto en sus efectos como en sus beneficios (Schwartz, Pedro, 2012).

Sin entrar en el análisis de la consistencia de las investigaciones que se han comentado, no ha de olvidarse una cuestión que subyace en lo más íntimo del pensamiento de los agentes económicos: que las expectativas que se asumen no suelen presentar errores de forma sistemática, y que si los tuvieren, se ajustan posteriormente. El uso de los modelos matemáticos y estadísticos, centro de gravedad de los análisis de los galardonados, ayuda a ello, aunque no asegura, por su extrema dificultad, el acierto pleno en el complejo entorno de las relaciones entre magnitudes macroeconómicas. Recordando las palabras del Nobel Hayek con ocasión de la recepción del Premio en 1974: En definitiva, decía que la obtención del mismo confería a los galardonados una autoridad que ninguna persona, singularmente considerada, debería poseer. Y, por otra parte, que no había ninguna razón que justificara que el hecho de haber realizado una especial contribución a la ciencia económica habilitaría para tener competencia en todos los problemas de la sociedad (Morales-Arce, 2012).

Hemos de destacar, por otra parte, y por referirnos a preocupaciones actuales, que desconocemos si tanto Roth como Shapley han expresado una opinión solvente y fundada sobre la actual situación de crisis financiera que afecta al mundo desarrollado, y, de manera particular, a la Unión Europea, una cuestión de gran sensibilidad en el mundo moderno. Pero investigadores cualificados, como hiciera el Nobel Sims del pasado año, aventuraban un futuro muy complicado y sombrío si no se articulaba la unidad fiscal; si no se autorizan competencias institucionales adicionales al Banco Central Europeo, con posibilidad de generar emisiones de títulos de deuda y otras más que facilitarían la salida de la actual situación. Volveremos después sobre estas posiciones.

El Premio Nobel de Economía no genera la unanimidad que se observa en las concesiones en otros campos de la ciencia. Por ejemplo, Friedrich Hayek, que, como se ha dicho, lo fue en 1974, se posicionó claramente en contra. Entendía que ninguna persona física debería ser señalada como si fuere una referencia en un campo de tanta complejidad como la Economía.

Otra crítica comúnmente aceptada es que se favorece a personas que siguen una corriente ortodoxa de pensamiento, evitando posiciones heterodoxas o no unánimemente aceptadas, en especial las que difieren del planteamiento neoclásico, que es el que viene gozando de mayores reconocimientos.

Las personas vinculadas a otros campos de la ciencia, en especial la Física, Química, Matemática, etc., divergen sobre la razonabilidad de la concesión del Nobel de Economía, puesto que consideran que esta rama del saber no es en puridad una disciplina científica, que, por otra parte, no cuenta, como en el pasado, con grandes prohombres susceptibles del galardón, algo que era notorio en los primeros veinte años del Premio. Entendemos este argumento, aunque las sociedades en crisis no dejan de valorar y agradecer contribuciones concretas, como las que han realizado tanto Roth como Shapley, cooperando a la solución de problemas con un alto contenido de contribución a la equidad y objetividad de la solución. Ojalá que las medidas que se están adoptando en España en materia de política económica, en vez de estar basadas en cuestiones intuitivas o partidarias, lo hubieran estado en los modelos de comportamiento que pusieron de manifiesto estos premiados en las aplicaciones que hemos comentado.

Y es que muchas de las medidas que se están adoptando, algunas de ellas inspiradas desde la Unión Europea, no responden, ni en los objetivos ni en los instrumentos utilizados, a los esquemas sugeridos por los dos Premios Nobel, que elaboraron herramientas que permitían analizar el impacto de los cambios en la política económica, que aquí ni siquiera se han considerado. Y ello, no por desconocimiento, sino por el comportamiento electoralista y el deseo de aparecer ante la opinión pública con una valoración optimista de los problemas o situaciones que se trataba de reformar.

Este es, a mi juicio, el momento en el que las instituciones académicas, con argumentos y la mayor fuerza y vigor, deben participar en el proceso de sensibilización a la opinión pública de que estos comportamientos deben concluir si se quiere que España tenga el reconocimiento que como nación solvente merece, tanto de nuestros vecinos como de los mercados en los que participamos (Morales-Arce, 2012).

■ Evolución de los Premios Nobel (1901-2011)

Los premios Nobel de Economía contaban hasta 2011 con una dotación de diez millones de coronas suecas (algo más de 1,1 millones de euros) bajo el patrocinio, desde 1969, del Sveriges Riksbank –Banco Central de Suecia–. A partir de este año, su cuantía se reduce a 930.000 euros.

Desde su creación, a iniciativa de Alfred Nobel, el Premio se ha concedido a 831 personas y 24 organizaciones. En 2012, el Nobel de la Paz ha sido otorgado a la Unión Europea.

Estados Unidos, con 330 galardonados; Reino Unido, con 118, y Alemania, con 103, son los países más reconocidos. España ha obtenido 7 de ellos, en los campos de la Literatura y la Medicina.

En los últimos diez años, solo 4 de los 21 premiados no eran norteamericanos, sin perjuicio de que hubieran desarrollado sus investigaciones en Estados Unidos.

Los Premios se entregaron el 10 de diciembre; el de la Paz, en Oslo, y los restantes, como es habitual, en Estocolmo.

Por su parte, los Premios Nobel de Economía se otorgan desde 1969 y han recaído en las personalidades que se relacionan a continuación.

AÑOS	CONCEDIDO A
1969	Bagnar FISH (Noruega) y Jan TINBERGEN (Holanda)
1970	Paul SAMUELSON (EE.UU.)
1971	Simmon KUZNETS (EE.UU.)
1972	John HICKS (Gran Bretaña) y Kenneth ARROW (EE.UU.)
1973	Wassily LEONTIEF (EE.UU.)
1974	Gunnar MYRDAL (Suecia) y Frederick V. HAYECK (Gran Bretaña)
1975	Leonidas KANTOROVICH (URSS) y Tjaling KOOPMANS (EE.UU.)
1976	Milton FRIEDMAN (EE.UU.)
1977	James MEADE (Gran Bretaña) y Bertin OHLIN (Suecia)
1978	Herbert SIMMON (EE.UU.)
1979	Theodore SCHULTZ (EE.UU.) y Arthur LEWIS (Gran Bretaña)
1980	Lawrence KLEIN (EE.UU.)
1981	James TOBIN (EE.UU.)
1982	George STGLER (EE.UU.)
1983	Gerard DEBREU (EE.UU.)
1984	Richard STONE (Gran Bretaña)
1985	Franco MODIGLIANI (EE.UU.)
1986	James BUCHANAN (EE.UU.)

AÑOS	CONCEDIDO A
1987	Robert M. SOLOW (EE.UU.)
1988	Maurice ALLAIS (Francia)
1989	Trygve HAAVELMO (Noruega)
1990	Harry MARKOWITZ, Merton MILLER y William SHARPE (EE.UU.)
1991	Ronald COASE (EE.UU.)
1992	Gary BECKER (EE.UU.)
1993	Douglas NORTH y Robert FOGEL (EE.UU.)
1994	John HARSANY, John NASH (EE.UU.) y Reinhart SELTEN (Alemania)
1995	Robert LUCAS (EE.UU.)
1996	James E. MIRRLEES (Reino Unido) y William VICKREY (EE.UU.)
1997	Robert C. MERTON y Myron S. SCHOLES (EE.UU.)
1998	Amartya SEN (India)
1999	Robert A. MUNDELL (Canadá)
2000	James J. HECKMAN y Daniel L. McFADDEN (EE.UU.)
2001	George A. AKERLOF, Michael SPENCE y Joseph E. STIGLITZ (EE.UU.)
2002	Daniel KAHNEMAN (Israel-EE.UU.) y Vernon L. SMITH (EE.UU.)
2003	Robert F. ENGLE (EE.UU.) y Clive W.J. GRANGER (Reino Unido)
2004	Finn E. KYDLAND (Noruega) y Edward C. PRESCOTT (EE.UU.)
2005	Robert J. AUMANN (Israel-EE.UU.) y Thomas C. SCHELLING (EE.UU.)
2006	Edmund S. PHELPS (EE.UU.)
2007	Leonid HURWICZ (EE.UU.), Eric S. MASKIN (EE.UU.) y Roger B. MYERSON (EE.UU.)
2008	Paul KRUGMAN (EE.UU.)
2009	Elinor OSTROM (EE.UU.) y Oliver E. WILLIAMSON (EE.UU.)
2010	Peter A. DIAMOND, Dale T. MORTENSEN (EE.UU.) y Christopher Antoniou PISSARIDES (Grecia-Chipre)
2011	Thomas J. SARGENT y Christopher A. SIMS (EE.UU.)
2012	Alvin E. ROTH y Lloyd S. SHAPLEY (EE.UU.)

■ Bibliografía

- Churchman C. West; Ackoff Rusell, L.; Arnolff Leonard, E. (1973): *Introducción a la Investigación Operativa*. Editorial Aguilar. Madrid. Pags. 509-ss.
- Dorronsoro, L. (2012): “Y el Nobel es para... Estados Unidos”. *ABC Empresa*. Madrid, 21.10.2012. Pag. 10.
- Fernández Villaverde, J. (2012): “Un premio al diseño de mercados”. *ABC Economía*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 38.
- Ferreira Garcia, José L.: *La Teoría de Juegos, sus aplicaciones en economía y metodología*. Universidad Carlos III. Madrid.
- Fletcher, Allan; Clark, Geoffrey (1966): *La Investigación Operativa en la práctica de la empresa*. Ediciones Deusto. Bilbao. Pag. 205.
- Morales-Arce, R. (2012): *Nuevo reconocimiento a la Macroeconomía*. Premios Nobel 2011. Real Academia de Doctores de España. Madrid. Pags. 152-153.
- Pin Arboledas, J.R. (2012): Declaraciones al diario digital *Hispanidad Confidencial*. Madrid, 15 octubre 2012.
- Sanz Caballero, J.I. (2012): “Ingeniería económica”. *Expansión*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 55.
- Serrano, R. (2012): “Reconocimiento a las teorías de Shapley y Roth”. *Expansión*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 31.
- Swchwartz, P. (2012): “Soluciones actuales para elecciones en pareja”. *Expansión*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 54.
- Tugores, J. (2012): “Eficiencia y más allá”. *Expansión*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 30.
- Villar, A. (2012): “Cómo valorar el bien de un objeto”. *Expansión*. Madrid, 16.10.2012. Pag. 55.
- Williams, J.D. (1954): *The Compleat Strategyst*. Mc Graw Hill Book Co. Nueva York.

www.fundacionareces.es

Vitruvio, 5
28006 Madrid
Tel. 91 515 89 80