

Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto  
Coordinadores

# Premios Nobel 2013

Comentarios a sus actividades y descubrimientos

## FISIOLOGÍA Y MEDICINA



James E. Rothman



Randy W. Schekman



Thomas C. Südhof

## LITERATURA



Alice Munro



Peter W. Higgs



François Englert

## FÍSICA



Martin Karplus



Michael Levitt



Arieh Warshel



Eugene F. Fama



Lars Peter Hansen



Robert J. Shiller

## QUÍMICA

## ECONOMÍA

## PAZ



OPAQ



Premios Nobel  
2013



REAL ACADEMIA DE DOCTORES DE ESPAÑA  
FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto  
Coordinadores

# Premios Nobel 2013

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: [cerasa@cerasa.es](mailto:cerasa@cerasa.es)

Web: [www.cerasa.es](http://www.cerasa.es)

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

[www.fundacionareces.es](http://www.fundacionareces.es)

Depósito legal: M-15519-2014

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35–37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

# ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
Agradecimientos.....	7
Relación de autores .....	9
Prólogo, <i>Luis Mardones Sevilla</i> .....	13
Introducción, <i>Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto</i> .....	19
Premio Nobel de Fisiología y Medicina 2013, <i>Juan José Aragón Reyes y María Cascales Angosto</i> .....	21
Premio Nobel de Física 2013, <i>Rafael Bachiller García</i> .....	45
Premio Nobel de Química 2013, <i>Antonio Luis Doadrio Villarejo</i> .....	75
Premio Nobel de Literatura 2013, <i>Evangelina Palacios Aláiz y Rosa Basante Pol.</i>	103
Premio Nobel de la Paz 2013, <i>Jacinto Torres Mulas</i> .....	133
Premio Nobel de Economía 2013, <i>Rafael Morales-Arce Macías</i> .....	163



## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al presidente de la Academia de Doctores de España, doctor Luis Mardones Sevilla, que tan amablemente ha realizado el prólogo de esta obra y a la Sección de Publicaciones, por su ayuda al proporcionarnos toda suerte de facilidades.

También especial gratitud a la prestigiosa Fundación Ramón Areces, por haber financiado los gastos de publicación, y a los doctores Julio R. Villanueva y José María Medina Jiménez, académicos de número de la Real Academia de Doctores de España, y miembros del Consejo Científico de la Fundación, por evaluar positivamente esta Monografía y considerarla de interés científico y cultural.

Por último, es obligado agradecer la labor eficiente y entusiasta de los académicos, que de manera desinteresada, han colaborado en esta obra y han realizado los capítulos relativos a cada Premio Nobel, comentando de manera magistral los descubrimientos y actividades de los galardonados. La meritoria labor que han realizado merece la más alta de nuestras consideraciones.

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

Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto  
Coordinadores  
Madrid, enero 2014





# 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



## **Rafael Bachiller García**

Doctor en Ciencias Físicas  
Director del Observatorio Astronómico Nacional (IGN)  
Gestor del área de Astronomía del Plan Nacional  
de I+D +i  
Académico de Número de la Real Academia de  
Doctores de España (65)  
Sección de Ciencias Experimentales  
r.bachiller@oan.es



## **Rosa Basante Pol**

Doctora en Farmacia  
Catedrática de la Universidad Complutense  
de Madrid  
Académica de Número de la Real Academia  
de Doctores de España (76)  
y 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](mailto:mcascales@insde.es)



**Antonio Luis Doadrio Villarejo**

Doctor en Farmacia

Profesor Titular de la Facultad de Farmacia de la UCM

Académico de Número de la Real Academia  
Nacional de Farmacia

[antoniov@farm.ucm.es](mailto:antoniov@farm.ucm.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

[luiswardonessevilla@gmail.com](mailto:luiswardonessevilla@gmail.com)

**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



**Evangelina Palacios Aláiz**

Doctora en Farmacia  
Profesora de la UCM  
Académica de Número de la Real Academia  
de Doctores de España (16)  
Sección de Farmacia  
palacios@farm.ucm.es





**Jacinto Torres Mulas**

Doctor en Filología Hispana

Catedrático de Musicología del Real Conservatorio  
de Madrid

Académico de Número de la Real Academia  
de Doctores de España (89)

Sección Arquitectura y Bellas Artes

[jacinto.torres@gmail.com](mailto:jacinto.torres@gmail.com)

# PRÓLOGO

Luis Mardones Sevilla

*Presidente de la Real Academia de Doctores de España*

Ante la buena acogida que ha acompañado las dos anteriores ediciones, la Real Academia de Doctores de España edita, por tercera vez, “Premios Nobel 2013, comentarios a sus actividades y descubrimientos”. Supone para nosotros una satisfacción a la vez que un compromiso presentar un nuevo volumen sobre los Premios de mayor prestigio mundial.

La concesión de los Premios Nobel se realiza cada año en el mes de octubre. Se inició el 7 octubre de 2013 con el Premio de Medicina o Fisiología y finalizó el 14 de octubre con el Premio de Economía.

El 7 de octubre de 2013, el Jurado del Instituto Karolinska, concedió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina a **James E. Rotham, Randy W. Schekman y Thomas C. Südhof** por descubrir los sistemas que regulan el tráfico vesicular.

El 8 de octubre de 2013, la Real Academia de Ciencias de Suecia concedió el Nobel de Física a **François Englert y Peter W. Higgs** por haber propuesto la existencia de la partícula elemental conocida como el *Bosón de Higgs*, que puede explicar el mecanismo por el que los objetos adquieren su masa en el Universo.

El 9 de octubre de 2013, la Real Academia de Ciencias de Suecia concedió el Premio Nobel de Química a **Arieh Warshel, Martin Karplus y Michael Levitt**, por el desarrollo de modelos multiescala para sistemas químicos de alta complejidad.

El 10 de octubre de 2013, la Academia Sueca decidió premiar con el Nobel de Literatura a la canadiense **Alice Munro**, por su trayectoria como artífice del relato corto contemporáneo, que se caracteriza por su claridad y realismo psicológico.

El 11 de octubre de 2013, el Comité Nobel del Parlamento Noruego concedió el Premio Nobel de la Paz a **La Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ)**. El organismo independiente con sede en La Haya logra así el máximo reconocimiento en un momento de creciente tensión por los ataques con armas químicas en Siria.

El 14 de octubre de 2013, el Comité Nobel anunció en Oslo que el Premio Nobel de Economía se adjudicaba a los estadounidenses **Lars Peter Hansen, Eugene F. Fama y Robert J. Shiller**, por sus estudios sobre la variación de los precios de los activos.



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

Con el Nobel de Economía se dio por finalizada la edición 2013 de los Premios Nobel en las diferentes disciplinas, que una vez conocidos por los galardonados fueron entregados por el propio Rey de Suecia, el 10 de diciembre de 2013.

Desde 1901 los Premios Nobel han sido entregados a los galardonados en una ceremonia solemne cada 10 de Diciembre, con ocasión del aniversario de la muerte de Alfred Nobel. Como quedó estipulado en el testamento de este inventor sueco y empresario internacional, los Premios Nobel en Física, Química, Fisiología o Medicina y Literatura, se entregan en Estocolmo (Suecia), mientras que el Premio Nobel de la Paz se entrega en Oslo (Noruega). Desde 1969 se viene concediendo un Premio adicional en la ceremonia de Estocolmo, el Premio Sveriges Riksbank en Ciencias Económicas, en memoria de Alfred Nobel, que fue establecido en 1968 con ocasión del 300 aniversario del Riksbank.

Este año, al igual que otros, la ceremonia de entrega de los Premios Nobel a los galardonados, presidida por El Rey Gustavo y la Reina Silvia, con asistencia de los

miembros de la Casa Real, se celebró en el Palacio de Congresos de Estocolmo. La entrega de cada Premio, estuvo precedida por un discurso de presentación, que mostró la actividad o los descubrimientos de cada premiado. Inmediatamente después Su Majestad el Rey de Suecia entregó a los laureados, un diploma, una medalla y un documento confirmando la cantidad relativa al Premio, firmado por el Rey Carlos Gustavo XVI de Suecia. Cada Premio recibió la cantidad de ocho millones de coronas suecas.

Los primeros en recibir dicho reconocimiento fueron los físicos **François Englert** y **Peter W. Higgs**. En segundo lugar **Arieh Warshel**, **Martin Karplus** y **Michael Levitt** recibieron el Premio de Química. Después **James E. Rotham**, **Randy W. Schekman** y **Thomas C. Südhof** recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina. En cuarto lugar la ganadora del Premio Nobel de Literatura, **Alice Munro**, no asistió a la Ceremonia por motivos de salud, y fue su hija Jenny Munro quien recogió el Premio. Por último, **Lars Peter Hansen**, **Eugene F. Fama** y **Robert J. Shiller**, recibieron el galardón en el sector de la **Economía**.



Los Reyes Carlos Gustavo XVI y Silvia de Suecia a su llegada al Palacio de Congresos de Estocolmo.

Después de la ceremonia se celebró un banquete en el Ayuntamiento de Estocolmo (*Stockholms Stadshus*) de unas 1.300 personas, entre las que se incluyeron 250 estudiantes.

En la ceremonia de entrega de Premios y en el Banquete fueron invitados de honor, además de los galardonados y sus familias, Sus Majestades El Rey y La Rei-



na y otros miembros de la familia Real de Suecia. También participaron representantes del Gobierno y Parlamento Suecos y una serie de invitados internacionales representantes de las ciencias y la cultura.

Los restantes invitados suecos son personas que participan en las funciones relacionadas con el Nobel en cualquiera de sus misiones, ayuda a las ciencias mediante donaciones o cualquier otra ayuda para la Fundación Nobel, que sirva para dar mayor realce y solemnidad a los Premios. No hay que olvidar que los Premios Nobel son considerados hasta la fecha los Premios más prestigiosos en el Mundo. Por todo ello, la Ceremonia de entrega de Premios, así como el Banquete en Estocolmo y Oslo se han ido transformando paulatinamente con el tiempo, desde simples celebraciones locales Suecas y Noruegas a acontecimientos internacionales de gran solemnidad, que reciben cobertura en todo el mundo por medio de prensa, radio y televisión.



Ahmet Uzumcu, Director General de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPCW) pronunciando su discurso en el acto de recepción del Premio Nobel de la Paz en el City Hall en Oslo el 10 de diciembre de 2013.

En el Ayuntamiento de Oslo, horas antes que la ceremonia de Estocolmo, se realizó la entrega del Premio Nobel de la Paz, concedido a **Organización para la Prohibición de Armas Químicas**, por el Presidente del Comité Noruego del Nobel, Thorbjorn Jagland, a Ahmet Uzumcu, Director General de dicha Organización, en presencia de Su Majestad el Rey Harald V de Noruega y la Reina Sonia, representantes del Gobierno y del Parlamento Noruego y una audiencia invitada. Fueron también invitadas una serie numerosa de personas que deseaban asistir a la ceremonia por razones especiales. El mismo día, una vez terminada la ceremonia, el Comité Nobel Noruego invitó a un banquete en honor de los galardonados y sus invitados.

Una parte importante de todo este ceremonial es la presentación de un discurso que cada galardonado ha de pronunciar. En Estocolmo estos discursos se presentaron días antes de la ceremonia de entrega de los Premios. En Oslo, el discurso del Premio

Nobel de La Paz, fue pronunciado por el diplomático turco **Ahmet Uzumcu**, antes citado después de la entrega del Premio.

Y volviendo a nuestra monografía, y como premio al esfuerzo valga mostrar mi agradecimiento a los autores que intervienen en esta obra, los doctores Académicos: Juan José Aragón Reyes de la Sección de Medicina; Rafael Bachiller García, de la Sección de Ciencias Experimentales, Antonio Luis Doadrio Villarejo, de la Real Academia Nacional de Farmacia; Evangelina Palacios Aláiz y Rosa Basante Pol, de la Sección de Farmacia; Jacinto Torres Mulas, de la Sección de Bellas Artes y Rafael Morales-Arce Macías, de la Sección de Ciencias Políticas y de la Economía. Todos ellos han contribuido con gran generosidad y eficiencia aportando sus conocimientos para explicar de manera clara unas áreas del saber y la cultura que forman ya parte del patrimonio de todos.

De manera especial mi agradecimiento 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.

Por último, también nuestra gratitud a la prestigiosa Fundación Ramón Areces por su generosidad al financiar los gastos de edición.

Luis Mardones Sevilla  
Madrid, enero de 2014



# INTRODUCCIÓN

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto

*“No hay ningún desafío que se sitúe más allá  
de la capacidad creadora de la especie humana”*

John Fitzgerald Kennedy, 23 de junio de 1963

Inventar.

Innovar.

Des-cubrir.

Los Premios Nobel se hallan en la vanguardia de los des-cubridores de los que “des-cubren”, una a una, las envolturas que esconden la realidad. Conocer la realidad en profundidad para poder transformarla, cuando sea aconsejable, en profundidad. Conocimiento... e imaginación. “En tiempos de crisis, solo la imaginación es más importante y necesaria que el conocimiento”, dijo Albert Einstein.

Imaginar, innovar, inventar: esta es la desmesura humana, esta es la gran esperanza de la humanidad: cada ser humano único capaz de crear.

Muchos más, sin duda alguna, merecerían por su clarividencia y denuedo esta gran distinción mundial que va aparejada con el Premio Nobel. Pero si no están todos los que son, son todos los que están. Sin excepción, son personalidades que, por el brillo de sus hallazgos y por la excepcional y meritoria trayectoria de su vida, merecen este reconocimiento planetario.

Esta es la razón principal por la que, gracias a los auspicios de la Fundación Ramón Areces y la colaboración de la Academia de Doctores, publicamos de nuevo la semblanza de los Premios Nobel 2013.

En medio de tanto desconcierto, con horizontes tan sombríos, el mundo necesita referentes. Los Premios Nobel lo son.

Los diferentes campos de la ciencia se ordenan en virtud de lo establecido por Alfred Nobel, han recibido el premio en el año 2013, los siguientes:

- **Fisiología y Medicina:** Los sistemas que regulan el tráfico de moléculas en el interior de la célula.
- **Física:** La existencia de la partícula elemental del universo conocida como *Bosón de Higgs* o “partícula de Dios”, que puede explicar el mecanismo por el que se produjo la transición crucial de la luz a masa en el universo.
- **Química:** El desarrollo de modelos multiescala para sistemas químicos de alta resolución.
- **Literatura:** El relato corto contemporáneo caracterizado por su realismo psicológico.
- **Paz:** El Organismo encargado de la Prohibición de las Armas Químicas (OPAG), logra el máximo reconocimiento en un momento de tensión muy especial generado por el uso de armamento químico en el conflicto bélico de Siria.
- **Economía:** La variación de los precios de los activos en el mercado.

No cabe duda de que el conocimiento de las contribuciones de los galardonados con el Premio Nobel en 2013 puede contribuir, en medio del caudal de información que nos procuran a diario las modernas tecnologías de la comunicación, a hacer posible la pausada y serena incorporación de lo que representan a nuestro comportamiento cotidiano.

“Ciencia para evitar o paliar el sufrimiento humano” es una expresión que tanto influyó en don Ramón Areces para poner en práctica su resolución de “devolver a la sociedad lo que de ella había recibido”.

La lectura de este libro, al presentar los fundamentos de los últimos progresos en campos tan importantes del conocimiento, nos ha de ayudar a diseñar nuestro propio recorrido.

Agradecemos sinceramente a todos los ilustres autores de los distintos apuntes bibliográficos su colaboración, y muy especialmente al Presidente de la Academia de Doctores que, de nuevo, nos ha distinguido con su excelente aportación.

Los coordinadores, enero de 2014

# Premio Nobel de Fisiología y Medicina 2013

## TRÁFICO CELULAR DE MOLÉCULAS

Juan José Aragón Reyes  
y María Cascales Angosto



James E. Rothman



Randy W. Schekman



Thomas C. Südhof

El Comité Nobel del Instituto Karolinska de Estocolmo, resolvió conceder el Premio Nobel de Fisiología y Medicina 2013 a los Doctores James E. Rothman, Randy W. Schekman y Thomas C. Südhof por sus descubrimientos de la maquinaria celular que regula el tráfico de moléculas en el interior de vesículas, el principal sistema de transporte en la célula. Estos tres científicos han resuelto el misterio del sistema de transporte celular. Cada célula es una fábrica que sintetiza moléculas que tiene que exportar. El transporte de estas sustancias se verifica en pequeños corpúsculos, a modo de burbujas rodeadas de membrana, denominadas vesículas. Estos descubrimientos significan un cambio paradigmático en el conocimiento de cómo la célula eucariota, con su compleja compartimentación interna, organiza la ruta de moléculas empaquetándolas en vesículas y enviándolas hacia diversos destinos intracelulares o hacia el espacio extracelular. La especificidad en el envío de este cargamento molecular es esencial para la función y supervivencia celulares, y se requiere, para numerosas funciones, entre ellas, la liberación de neurotransmisores en la región presináptica de una célula nerviosa que transmite una señal a otra célula nerviosa cercana, el envío de hormonas, tales como la insulina, al medio extracelular, etc.

James E. Rothman desentrañó el mecanismo de la maquinaria proteica que permite que las membranas de las vesículas se fusionen con las de sus lugares de destino, para transferir allí el cargamento molecular que llevan en su interior.

Randy W. Schekman descubrió un grupo de genes cuyos productos son requeridos para el tráfico de las vesículas. Thomas C. Südhof ha revelado cuáles son las señales que instruyen a las vesículas para liberar las moléculas que transportan, y ha puesto de manifiesto que el sistema de control de este mecanismo es de una extraordinaria precisión para el transporte y envío de moléculas. Cualquier alteración en este sistema contribuye a enfermedades tales como trastornos neurológicos, inmunológicos, o la diabetes.

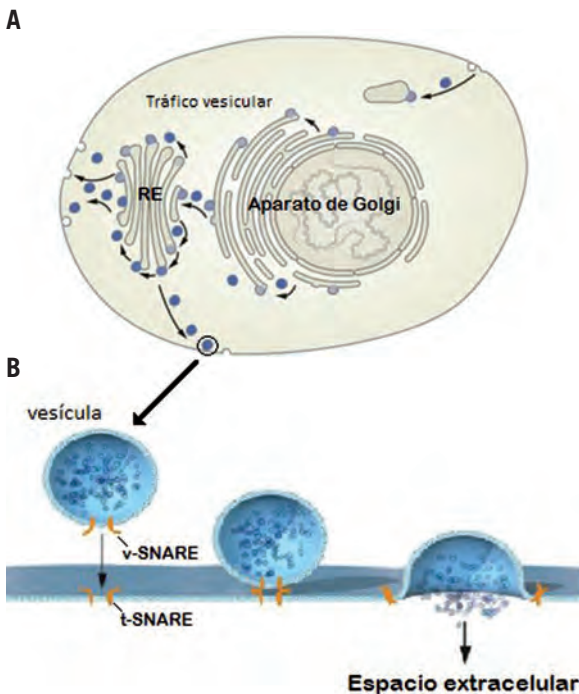
**James E. Rothman** nació en 1950 en Haverhill, Massachusetts, EE.UU. Obtuvo su grado de Doctor en 1976, en la Escuela de Medicina de Harvard. Posteriormente, se incorporó como becario postdoctoral al Instituto de Tecnología de Massachusetts, y en 1978 se trasladó a la Universidad de Stanford en California, donde inició su investigación sobre las vesículas celulares. Rothman ha trabajado también en la Universidad de Princeton, en el Instituto del Cáncer del Memorial Sloan-Kettering Center y en la Universidad de Columbia. En 2008 se trasladó a la Universidad de Yale en New Haven, Connecticut, donde actualmente es profesor y chairman en el Departamento de Biología Celular.

**Randy W. Schekman** nació en 1948 en St Paul, Minnesota, EE.UU. Estudió en la Universidad de California en Los Ángeles y en la Universidad de Stanford, donde obtuvo su grado de Doctor en 1974, dirigido por Arthur Kornberg (Premio Nobel en 1959), y en el mismo departamento donde Rothman se unió algunos años después. En 1976 se trasladó a la Universidad de California en Berkeley, donde en la actualidad es profesor en el Departamento de Biología Celular y Molecular, y también investigador en el Instituto de Medicina Howard Hughes.

**Thomas C. Südhof** nació en 1955 en Göttingen, Alemania. Estudió en la Universidad Georg-August en Göttingen, donde se graduó en Medicina en 1982 y obtuvo el doctorado en neuroquímica el mismo año. En 1983, se trasladó a la Universidad de Texas Southwestern Medical Center en Dallas, EE.UU., como becario postdoctoral con Michael Brown y Joseph Goldstein (Premios Nobel en 1985). En 1991, inició sus investigaciones en el Instituto de Medicina Howard Hughes y fue nombrado profesor de Fisiología Celular y Molecular en la Universidad de Stanford en 2008.

## ■ Transporte de moléculas dentro y fuera de la célula

La célula, con sus diferentes compartimentos denominados orgánulos, se enfrenta al gran problema del transporte de las moléculas que produce. El retículo endoplásmico de la célula sintetiza una serie de moléculas, tales como hormonas, neurotransmisores, citoquinas y enzimas, que tienen que ser enviadas a otros lugares dentro de la propia célula, o sacadas al espacio extracelular. El momento y el lugar de estos intercambios tienen una enorme importancia para la correcta funcionalidad de la célula. Este intercambio se verifica mediante pequeñas vesículas que transportan el cargamento molecular y se fusionan con las membranas de sus objetivos, que pueden ser otros orgánulos celulares o la membrana celular. En este último caso el cargamento molecular se libera al espacio extracelular. El proceso de transporte de moléculas es de gran importancia, ya que desencadena numerosos procesos celulares tales como la activación del impulso nervioso, en el caso de sustancias neurotransmisoras, o el control del metabolismo, en el caso de hormonas. Es importante conocer cómo estas vesículas poseen la información necesaria para enviar el cargamento molecular en el lugar y momento preciso (figura 1).



**Figura 1.** Las células del organismo poseen una organización compleja en la que las funciones celulares específicas están distribuidas en los diferentes compartimentos denominados orgánulos. **A:** las moléculas producidas en la célula se empaquetan en vesículas y se transportan con precisión espacial y temporal a los lugares correctos dentro y fuera de la célula. **B:** complejo proteico (v-SNARE y t-SNARE) descubierto por Rothman, que capacita a las vesículas para fusionarse con sus membranas de destino. Las proteínas de las vesículas, v-SNARE, se unen a proteínas específicas complementarias en la membrana del sitio de destino ("target"), t-SNARE, asegurando que esta fusión se verifica en el lugar correcto y que la carga molecular se entrega en el momento oportuno. (RE, retículo endoplásmico) (Zierathy Lendahl, 2013, modificado).



Randy W. Schekman estaba interesado en la organización del sistema de transporte celular y decidió estudiar sus bases genéticas en los años 1970, utilizando la levadura como sistema modelo. En un análisis genético, Schekman identificó células de levadura con alteraciones en la maquinaria de transporte que daban lugar a un acúmulo intracelular de vesículas, encontrando que la causa de esta congestión era genética, lo que le llevó a identificar los genes alterados. El conocimiento de estos genes y sus productos, proporcionó una nueva panorámica de la maquinaria que interviene en el transporte de las vesículas en las células y de su correcta regulación. El establecimiento de las funciones celulares de las proteínas responsables de este proceso ha sido difícil en sistemas de mamíferos, donde el análisis genético es mucho más complicado que en microorganismos. Por esta razón, y con el objeto de desentrañar la variedad de los productos génicos responsables de la organización y ejecución del transporte intracelular, Schekman y su grupo comenzaron, hace más de treinta años, a aplicar las técnicas de genética microbiana y biología molecular al estudio de estos problemas en un eucariota sencillo, la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Hace también más de treinta años, James E. Rothman, investigando la naturaleza del sistema de transporte celular, descubrió un complejo proteico que capacitaba a las vesículas a acoplarse y fusionarse con las membranas de sus células diana. En este proceso de fusión, las proteínas de las vesículas y las de las membranas del destino, se unen entre sí del modo que lo hace una cremallera. El hecho de que tales proteínas sean muchas y que se unan solo en combinaciones específicas, asegura que el cargamento de moléculas transportado por la vesícula se envía a un lugar específico. El mismo principio opera dentro de la célula cuando una vesícula se une a su membrana externa para liberar su contenido al espacio extracelular.

El hecho de que algunos de los genes que Schekman había descubierto en levadura codificaban para proteínas que correspondían a las que Rothman había identificado en mamíferos, llevó a revelar el origen evolutivo del sistema de transporte y permitió que ambos determinaran los componentes críticos de la maquinaria de transporte celular.

Por otro lado, Thomas C. Südhof se interesó en el problema de la comunicación entre las células nerviosas en el cerebro. Las moléculas señalizadoras, los neurotransmisores, son liberados a partir de las vesículas que se fusionan con las membranas externas de las células nerviosas, utilizando la maquinaria molecular descubierta por Rothman y Schekman. Pero a estas vesículas solo se les permite

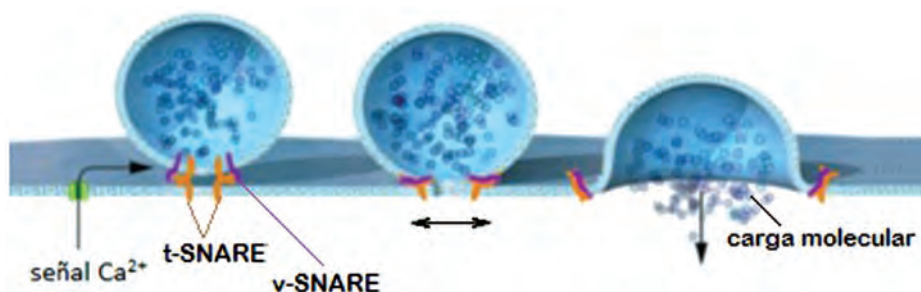
liberar su contenido cuando la célula nerviosa emite señales a sus vecinas. ¿Cómo se controla esta liberación de manera tan precisa? Südhof encontró la respuesta en los iones calcio y consiguió identificar la maquinaria molecular que responde a un influxo de  $\text{Ca}^{++}$ , dirigiendo a las proteínas vecinas a unirse rápidamente a las vesículas de la membrana externa de la célula nerviosa. La cremallera antes citada se abre y las sustancias señalizadoras se liberan. El descubrimiento de Südhof explicó cómo se consigue la precisión temporal, y cómo el contenido de las vesículas puede ser liberado de manera precisa y ordenada.

Los tres laureados con el Nobel 2013 han descubierto un proceso fundamental en la biología celular, que ha tenido un impacto importante en el conocimiento del transporte de la carga molecular en el momento justo, dentro o fuera de la célula. El transporte y fusión de las vesículas opera con los mismos principios generales en organismos tan diferentes como levadura y humanos. El sistema es crítico para una variedad de procesos fisiológicos en los cuales la fusión de las vesículas ha de estar controlada, y se distribuye ampliamente desde la señalización en cerebro a la liberación de hormonas y citoquinas inmunes. La alteración en la formación y transporte de las vesículas trae consigo una variedad de enfermedades neurológicas, inmunológicas y metabólicas. Sin esta organización tan extraordinariamente precisa la célula podría entrar en caos.

## ■ Procesos que controlan la fusión vesicular

Thomas C. Südhof comenzó a estudiar el control de la función de la vesícula sináptica. Rothman y Schekman habían proporcionado la maquinaria fundamental para la fusión vesicular, pero faltaba ahora encontrar cómo se controlaba espacial y temporalmente esa fusión vesicular. Las fusiones vesiculares tienen que ser ejecutadas con alta precisión en respuesta a estímulos específicos. El campo de la neurofisiología tuvo importantes avances con los descubrimientos de Bernard Katz, Ulf von Euler y Julius Axelrod (Premios Nobel 1970), concernientes a los transmisores humorales en los terminales nerviosos y el mecanismo para su almacenamiento, liberación e inactivación. Südhof estaba intrigado por la rápida exocitosis de las vesículas sinápticas, la cual estaba bajo un estricto control temporal, regulada por los cambios en la concentración citoplasmática de calcio libre. Südhof observó el papel del calcio como regulador de la liberación de los neurotransmisores en las neuronas y descubrió que dos proteínas, la complexina y la sinaptotagmina, eran críticas en la fusión vesicular mediada por calcio.

La complexina compite con SNAP, una proteína asociada a sinaptosoma, por el receptor al que se une SNAP, acción que no ejerce la sinaptotagmina. Las neuronas de ratones *knockout* para la complexina, mostraron una eficiencia muy reducida en la liberación de transmisores debido a la menor sensibilidad al calcio del proceso de secreción sináptica. Esto revelaba que la complexina actúa en una etapa tardía en la fusión sináptica, como mecanismo de sujeción que previene la fusión constitutiva y permite que se verifique la exocitosis de forma regulada. Südhof descubrió que la sinaptotagmina-1 interviene acoplando el calcio a la liberación del neurotransmisor. La sinaptotagmina-1 interactúa con fosfolípidos de manera dependiente de calcio, como también lo hace con la syntaxina-1 y con los receptores SNARE descubiertos por Rothman. Südhof estableció que la sinaptotagmina-1 ejerce un papel como sensor del calcio para la rápida fusión sináptica, demostrando que la unión del calcio a esta proteína, participa en el desencadenamiento de la liberación de neurotransmisores en la sinápsis. Por otra parte, Südhof también caracterizó el gen *Munc18-1*, que se corresponde con el gen *sec-1*, descubierto por Schekman y de ahí recibe su nombre la proteína SM (Sec/Munc), encontrando que Munc18-1 interacciona con la syntaxina y que abraza más tarde al complejo trans-SNARE. Se sabe ahora que las proteínas SM son una parte integral del complejo proteico implicado en la fusión de las vesículas, junto con las proteínas SNARE. Südhof también demostró que la delección de Munc18-1 en ratón producía una pérdida completa de la secreción de neurotransmisores a partir de las vesículas sinápticas. Igualmente realizó descubrimientos críticos importantes en el conocimiento del control en espacio y tiempo de la fusión de las vesículas y desentrañó las vías dependientes del calcio que regulan la liberación de los neurotransmisores en la sinápsis (figura 2).



**Figura 2.** Los estudios de Südhof han demostrado cómo se verifica la transmisión de señales de una célula nerviosa a otra en el cerebro y cómo el calcio controla este proceso. Estos estudios identificaron la maquinaria molecular sensible a los iones calcio, que convierte esta información a lo que corresponde a la fusión vesicular, y explica cómo se consigue la precisión temporal para que las vesículas puedan liberarse de su carga molecular (Zierath, y Lendahl, 2013, modificado).

## ■ Fundamentos básicos del transporte vesicular

Una de las características que definen a la célula eucariota es su capacidad de mantener un grupo diverso de compartimentos intracelulares con distintos componentes o proteínas, de manera que las sustancias puedan ser transportadas desde un compartimento a otro, sin que el compartimento pierda su identidad única. Como hemos visto, el transporte de estos componentes se realiza mediante vesículas que brotan a partir del compartimento donador. El brote de una vesícula y su transporte para fusionarse con el orgánulo de destino, están mediados por diversas familias de proteínas. Un grupo de proteínas, las denominadas SNARE (*soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein receptor*), se encuentran implicadas en el mecanismo que media la fusión de las dos membranas y asegura que las vesículas envíen su carga hacia el compartimento correcto. Las proteínas SNARE tienen características estructurales helicoidales y son importantes en la definición de la especificidad respecto a sitios de destino de las vesículas.

### ***Proteínas SNARE, el corazón de la fusión de membranas***

Las células se encuentran rodeadas por una bicapa lipídica, la membrana plasmática, que la separa del medio circundante. Además de esta membrana, las células eucariotas poseen corpúsculos u orgánulos intracelulares, también rodeados de membranas lipídicas internas, que demarcan los diversos compartimentos intracelulares: el retículo endoplásmico, el aparato de Golgi, las mitocondrias y los lisosomas, entre otros. Estos compartimentos se encuentran especializados en la ejecución de determinadas funciones, tales como síntesis de proteínas, hidrólisis de proteínas, reacciones metabólicas, etc. La presencia de tales compartimentos u orgánulos y su especialización funcional constituyen características fundamentales de las células eucariotas, que las distinguen de las células procariotas tales como las bacterias. Las ventajas evolutivas que ofrece esta compartimentación celular se refleja en la gran variedad de células eucariotas que existen en la naturaleza, que van desde la levadura hasta las neuronas. La mayoría de las funciones específicas de cada orgánulo intracelular son ejecutadas por proteínas que residen en su interior o en la membrana. Se requiere, por tanto, el transporte de estas proteínas y de sus sustratos hasta los compartimentos correspondientes. Este transporte corre a cargo de vesículas lipídicas que se forman en un compartimento y se fusionan en otro, cediendo su carga molecular en este último. Por ejemplo, las proteínas que han de residir en la membrana del aparato de Golgi, se sintetizan en

los ribosomas y se insertan, primero en la membrana del retículo endoplásmico, luego se “empaquetan” en el interior de las vesículas que se forman en el retículo endoplásmico y por último, estas vesículas portadoras de la carga molecular se trasladan hacia su destino, se fusionan con la membrana del aparato de Golgi y ceden las moléculas que transportan al interior de dicho aparato.

En otros procesos operan mecanismos similares. Por ejemplo, en la secreción al medio extracelular de pequeñas moléculas con funciones diversas, se encuentra la liberación de neurotransmisores para la comunicación entre neuronas y para el funcionamiento del cerebro. Los neurotransmisores se empaquetan a elevadas concentraciones en el interior de vesículas lipídicas que se forman en los terminales presinápticos de las neuronas, liberándose posteriormente mediante la fusión de las membranas de estas vesículas con la membrana plasmática (exocitosis). Los neurotransmisores liberados se unen, entonces, a receptores alojados en las membranas de otras neuronas próximas, iniciándose de esta manera una respuesta en las mismas. Estos y otros ejemplos indican que los procesos de fusión de membranas intracelulares constituyen una gran parte de la biología de las células y de los organismos que las poseen.

Desde el descubrimiento de las proteínas SNARE por Rothman, estas proteínas han sido reconocidas como los componentes clave de los complejos proteicos que gobiernan la fusión de las membranas. A pesar de la considerable divergencia en las secuencias de las proteínas SNARE, su conservado mecanismo se adapta a reacciones de fusión tan diversas como las implicadas en el crecimiento celular, reparación de membranas, citocinesis y transmisión sináptica.

## ***Descubrimiento y estructura de las proteínas SNARE***

Las investigaciones pioneras de George Palade en los años 1960 establecieron la vía secretora y su conexión con la biogénesis de orgánulos, como una vía importante en la biología de los eucariotas (Palade, 1975). Sus discípulos continuaron con los descubrimientos morfológicos en un nivel de análisis que implicaba el fraccionamiento subcelular y la reconstitución bioquímica para comprender los mecanismos de la síntesis de las proteínas secretoras y su traslocación. Sin embargo, a final de los años 1970 aún se sabía poco acerca de la identificación de las proteínas requeridas para la organización y ejecución de la vía secretora. Otros intentos sobre análisis genéticos en *Paramecium* para descubrir las proteínas re-

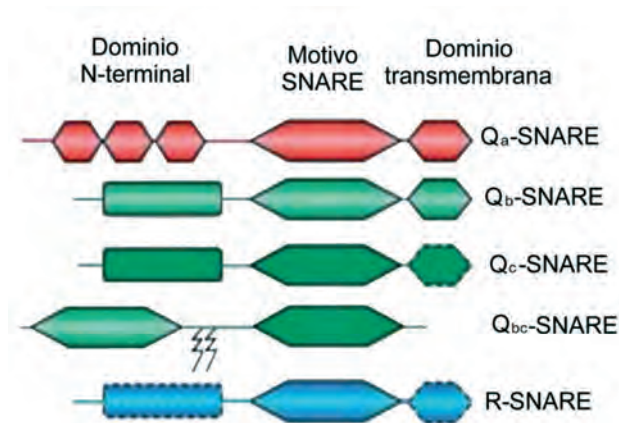
queridas en la secreción, no tuvieron éxito debido a que las entonces rudimentarias y complicadas técnicas de clonación, limitaban la utilidad de este sistema.

Fue en los años 1980, cuando se caracterizaron las proteínas SNARE y se identificaron como elementos clave en la fusión de las membranas. Aunque con alguna que otra discrepancia, hoy se considera que estas proteínas median la fusión de las membranas en todas las etapas transportadoras de la vía secretora a través de un modelo molecular apoyado por numerosas evidencias. De acuerdo con este modelo, las proteínas SNARE, que se localizan en membranas opuestas, promueven la fusión de las membranas utilizando la energía libre liberada durante la formación de un haz de cuatro hélices alfa. La formación de estos haces conduce a una estrecha conexión de las membranas destinadas a fusionarse, lo que inicia su fusión. El reciclaje de las SNARE se consigue mediante la disociación del agrupamiento de las hélices, mediada por la proteína AAA+ NSF (*N-ethylmaleimide-sensitive factor*), una ATPasa.

Las proteínas SNARE están compartimentadas y orientadas en el citoplasma, de forma que se emparejan en las membranas de manera específica. Para llegar a desentrañar su papel, Rothman partió de la hipótesis “SNARE”, cuya base original fue el descubrimiento de un complejo estequiométrico consistente en una v-SNARE y una t-SNARE (v- de vesícula y t- de *target*, diana o destino), junto con las proteínas de fusión citoplasmáticas SNAP y NSF. Posteriormente se estableció que las v- y t-SNARE forman su propio complejo estable en ausencia de SNAP y NSF. Muchas v- y t-SNARE se han caracterizado en levadura, plantas y animales. Los miembros de la familia SNARE se localizan de manera selectiva en compartimentos celulares tales como el retículo endoplásmico, membranas nucleares, aparato de Golgi, endosomas, lisosomas, vesículas secretoras de almacenamiento y membranas plasmáticas apicales y basolaterales, siendo requeridas para eventos de fusión que implican a los compartimentos en los cuales se localizan.

Las proteínas SNARE forman una superfamilia de proteínas pequeñas con 25 miembros en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, 36 miembros en humanos y 54 miembros en la crucífera *Arabidopsis thaliana*. Poseen una estructura de dominios simples y un motivo característico SNARE, evolutivamente conservado, de 60–70 aminoácidos dispuestos en heptadas repetidas. En su región C-terminal, la mayoría de estas proteínas poseen un dominio transmembrana unido al motivo SNARE mediante una conexión corta al extremo carboxilo, mientras que al extremo amino de dicho motivo pueden añadirse diversos dominios que constituyen la principal

fuelle de variabilidad entre las proteínas SNARE. Existen, no obstante, algunas excepciones a este patrón estructural. Es el caso de las brevinas, que carecen de dominio aminoterminal, o de SNAP-25 una SNARE neuronal que carece de dominio transmembrana, pero que posee dos motivos SNARE unidos por un región conectora palmitoilada que posibilita su anclaje a las membranas celulares (figura 3).



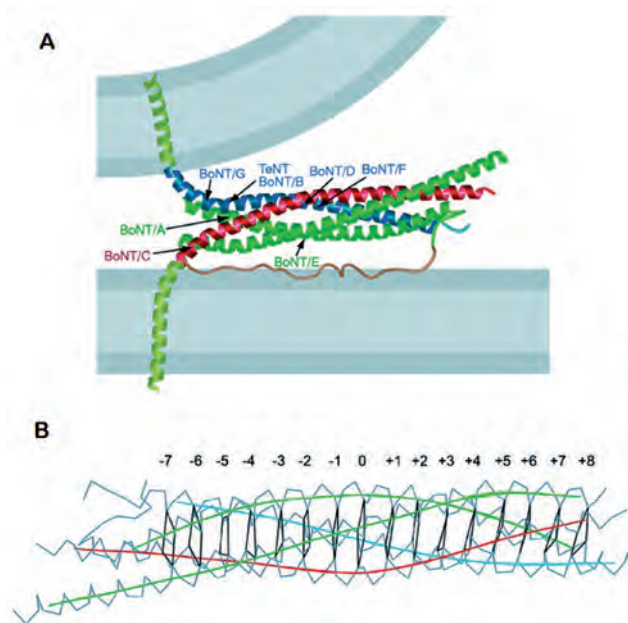
**Figura 3.** Estructura de las proteínas SNARE (soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor –NSF– attachment protein receptor). Organización de los dominios en las distintas familias o tipos de proteínas SNARE (Qa, Qb, Qc, Qbc y R). Aquellas regiones limitadas por líneas discontinuas representan dominios cuya presencia no es constante en todos los miembros de la familia (Fasshauer et al., 1998, modifica-do).

## Motivos SNARE

La formación del complejo de fusión de las proteínas SNARE en las membranas que van a fusionarse, está mediada por los mencionados motivos SNARE. Estos motivos carecen de una estructura definida en los monómeros de las proteínas; sin embargo, cuando las proteínas SNARE entran en contacto, sus motivos SNARE adoptan espontáneamente la conformación de complejos de extraordinaria estabilidad constituidos por 4 hélices alfa entrelazadas o superhélices, en los que cada hélice corresponde a un motivo SNARE diferente: sinaptobrevina/VAMP, syntaxina y SNAP-25 (figura 4A). En el interior del haz formado por estas 4 hélices alfa se sitúan 16 capas o anillos (numerados desde –7 hasta +8, comenzando por el extremo amino), integrados por las cadenas laterales de aminoácidos pertenecientes a los distintos motivos SNARE. Estos anillos son de carácter hidrofóbico, con la excepción del anillo en posición media, donde existe una capa iónica (capa «O»), poco frecuente, que contiene tres residuos de glutamina (Q) de la syntaxina y uno de arginina (R) de la sinaptobrevina (figura 4B). Atendiendo a la presencia de estos aminoácidos, las proteínas SNARE se clasifican en Q y en R. A su vez, dependiendo de la posición del motivo SNARE en el seno de la proteína, las SNARE Q se subdividen en Qa, Qb y Qc y Qbc, debiendo asociarse siempre en combinaciones heteroméricas planas (QaQbQcR o QaQbcR) y disponerse de forma paralela para poder constituir



complejos productivos capaces de inducir la fusión de las membranas. Como ya se ha mencionado, el dominio aminoterminal de la proteína SNARE conforma la región de mayor variabilidad, cumpliendo funciones diversas entre las que se encuentran la de plegarse sobre el motivo SNARE, forzando una conformación “cerrada” de la proteína (syntaxina), que impide su participación en los complejos de fusión, y la de mediar la interacción con proteínas como las SM. La formación del complejo de fusión tiene lugar, probablemente, en dos etapas, consistentes en la formación de un complejo intermediario QaQbQc en la membrana plasmática y la posterior asociación con una SNARE R vesicular. Este ensamblaje secuencial se vería favorecido por el hecho de que las proteínas SNARE Q no se distribuyen uniformemente en la membrana plasmática, sino que se agrupan en regiones ricas en colesterol sobre las que las vesículas SNARE R tenderían a fijarse, lográndose, en consecuencia, una mayor eficiencia en los procesos de fusión de membranas.



**Figura 4. A.** Estructura tridimensional del complejo de fusión neuronal en configuración trans obtenida mediante análisis de difracción de rayos X. El complejo adopta la forma de un cilindro de 120 Å de longitud y diámetro trasversal variable formada por los motivos SNARE de la sinaptobrevina 2 (azul), la syntaxina 1 (rojo) y SNAP-25 (verde). Se muestran también los lugares de actuación de las toxinas clostridiales: tetánica (TeNT) y botulínicas (BoNT/) A, B, C, D, E, F y G. (Sutton et al., 1998). **B.** Esquema de la porción central del complejo de fusión mostrando las 16 «capas» formadas por las cadenas laterales de los aminoácidos de los motivos SNARE dispuestas a ambos lados de una capa central «0». En negro se muestra el eje de la superhélice y en azul, rojo y verde las hélices de la sinaptobrevina, la syntaxina 1 y SNAP-25, respectivamente (Fasshauer et al., 1998).



## ***Las proteínas SM***

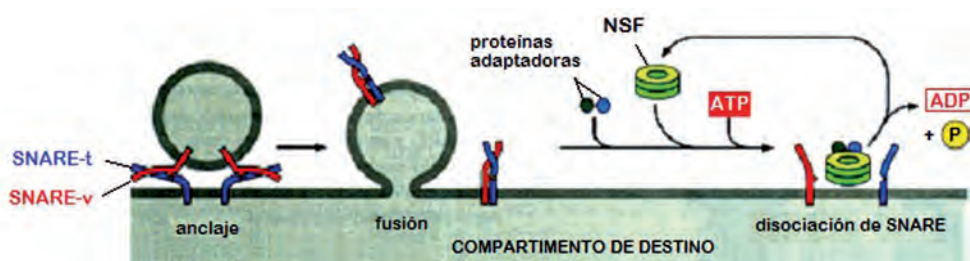
Otro componente esencial de la maquinaria molecular de la fusión de membranas son las proteínas SM. Se trata un grupo de 7 proteínas solubles de pequeño tamaño molecular (650-700 aminoácidos) relacionadas con Sec1/Munc18, de ahí su nombre SM. Munc18-1 ha sido implicada en procesos tan diversos como los de estabilizar la conformación cerrada de la syntaxina 1, favorecer la constitución de complejos entre proteínas SNARE de tipo Q que servirían de aceptores de proteínas R durante el ensamblaje del complejo de fusión, o la formación de complejos estables con proteínas solubles. Esta variedad de funciones ha motivado que se le hayan asignado papeles diversos y a veces contradictorios en la regulación de la exocitosis, facilitando o inhibiendo la formación del complejo SNARE («priming»), promoviendo el atraque vesicular («docking») e incluso acelerando la expansión del poro de fusión (fusión de membranas). Trabajos más recientes consideran que la proteína SM es un coagonista esencial de las proteínas SNARE en la fusión y que todas las reacciones de fusión dependientes de SNARE requieren la intervención de SM. Al menos para la fusión durante la secreción de los neurotransmisores, el papel de SM está ligado a la syntaxina. La syntaxina constituye un organizador central que contiene muchos dominios: un péptido N-terminal, un dominio Habc, un motivo SNARE y una región C-terminal transmembrana. La syntaxina asume dos conformaciones, una cerrada fuera del complejo SNARE y una conformación abierta en el complejo SNARE. Ambas conformaciones se unen a Munc-18 (SM), pero solo la unión de Munc-18 a la región aminoterminal de la syntaxina consigue la conformación abierta necesaria para la fusión. Aún se desconoce cómo la syntaxina orquesta la fusión.

## ***ATPasas y GTPasas de transporte***

Para asegurar que el tráfico de membrana se realiza de forma adecuada, las vesículas de transporte han de ser muy selectivas en el reconocimiento de la membrana de destino con la que se han de fusionar. Es probable que cualquier vesícula se encuentre con muchas membranas antes de hallar la correcta. La especificidad se asegura por: a) la existencia de marcadores de superficie en las vesículas, y b) la existencia de receptores complementarios para esos marcadores en las membranas del compartimento de destino. Esta etapa de reconocimiento es crítica y está controlada por las proteínas SNARE, que juegan un papel central por aportar la especificidad de reconocimiento y catalizan la fusión de la vesícula con la membrana del

compartimento aceptor, y por las GTPasas de direccionamiento llamadas Rab, implicadas en la regulación del anclaje inicial de la vesícula a la membrana de destino.

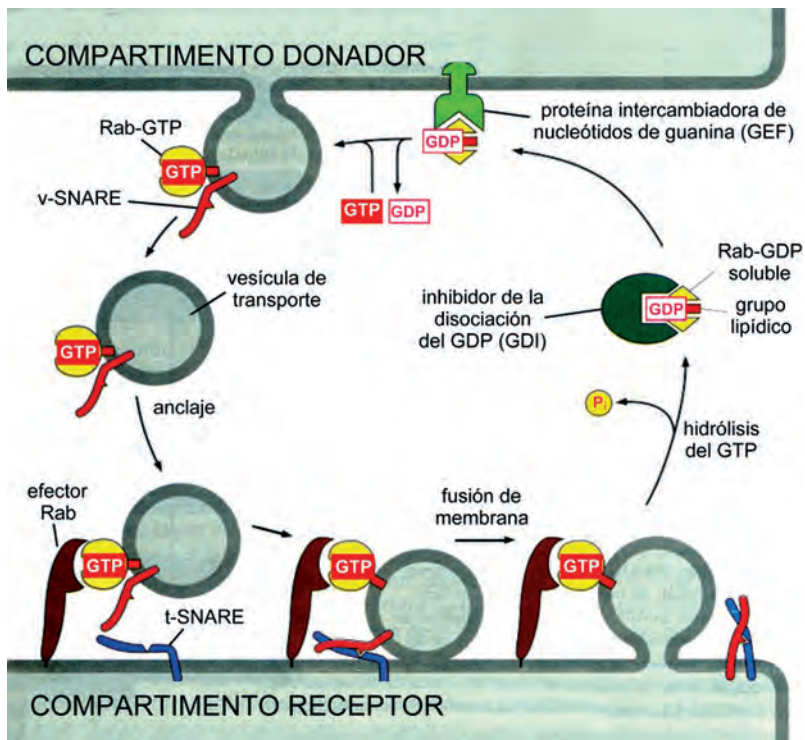
Como se ha comentado anteriormente, existen dos tipos de proteínas SNARE, las v-SNARE y las t-SNARE como juegos complementarios; la primera en la membrana de la vesícula y la segunda en la membrana de destino. Cuando interaccionan, los dominios helicoidales de una envuelven los de la otra, formando complejos estables *trans*-SNARE que fijan la unión de las dos membranas y provocan su fusión. De aquí la elección por Rothman de la palabra *snare*, trampa o lazo, para denominar a este tipo de proteínas. Una vez han actuado, las proteínas SNARE tienen que separarse para poder actuar de nuevo. Una proteína crucial NSF alterna su situación entre la membrana y el citoplasma y cataliza el proceso de desensamblaje. Es una ATPasa, que utiliza ATP para deshacer las interacciones de enrollamiento helicoidal entre los dominios helicoidales de las SNARE, interviniendo en ello una serie de proteínas adaptadoras que se unen a las SNARE (figura 5).



**Figura 5.** Disociación de las parejas de proteínas SNARE por la acción de NSF después de completar un ciclo de fusión de membrana. Después de que las v-SNARE (en rojo) y t-SNARE (en azul) hayan participado en la fusión de vesículas sobre la membrana del compartimento de destino, NSF se une al complejo SNARE vía proteínas adaptadoras e hidroliza el ATP para separar las SNARE ([www.jolugar.ebs.ull.es](http://www.jolugar.ebs.ull.es)).

Las proteínas Rab son GTPasas monoméricas con más de 30 miembros conocidos. Cada una posee una distribución característica en las membranas celulares y en la cara citoplasmática de las membranas de los orgánulos. Las proteínas Rab facilitan y regulan la frecuencia de anclaje de las vesículas al controlar el apareamiento de las proteínas v-SNARE con las t-SNARE, requerido para la fusión de las membranas. Las proteínas Rab oscilan entre las membranas y el citoplasma. En su estado unido a GDP son inactivas y se encuentran en el citoplasma y en su estado unido a GTP son activas y se encuentran unidas a la membrana de un orgánulo o de una vesícula de transporte.

Las proteínas Rab intervienen en la especificidad de unión de las vesículas de transporte con la membrana receptora. Una GEF (proteína intercambiadora de nucleótidos de guanina) de la membrana donadora, reconoce a una proteína Rab específica y la induce a intercambiar el GDP por el GTP. La unión al GTP altera la conformación de la Rab, exponiendo su grupo lipídico unido covalentemente, el cual produce el anclaje de la proteína a la membrana. La Rab-GTP permanece unida a la superficie de la vesícula después de que esta se separa de la membrana donadora y se une a efectores Rab de la membrana receptora. La proteína Rab y los efectores contribuyen al anclaje de la vesícula y por lo tanto al apareamiento de las proteínas v-SNARE y t-SNARE. Después de la fusión de la vesícula con la membrana receptora, la proteína Rab hidroliza su GTP liberándose al citoplasma como Rab-GDP, desde donde puede ser reutilizada en una nueva ronda de transporte.



**Figura 6.** Intervención de las proteínas Rab junto con las proteínas SNARE en la unión de las vesículas de transporte con la membrana receptora o de destino. Se muestra cómo las proteínas Rab se unen a la vesícula formada en el compartimento donador, cómo contribuye a continuación al anclaje de la vesícula liberada al compartimento de destino, y tras la liberación de los componentes que porta la vesícula, vuelve de nuevo hacia la formación de nuevas vesículas en el compartimento donador ([www.jolugar.webs.ull.es](http://www.jolugar.webs.ull.es)). El papel de las diversas proteínas se describe en el texto.

Rab-GDP en el citoplasma está unida a un inhibidor de la disociación de GDP (GDI) que impide que Rab pueda liberar el GDP hasta que haya interactuado con las proteínas apropiadas de la membrana del compartimento donador (figura 6).

### ***Formación, fisión, transporte y fusión de las vesículas***

El tráfico vesicular de proteínas está sujeto a estrictos mecanismos de control. Existen complejos proteicos que se adosan a membranas específicas y proporcionan la fuerza mecano-química que provoca la curvatura de membrana necesaria para generar una vesícula de transporte. La formación de una vesícula transportadora no es un proceso espontáneo y requiere un aporte de energía. Las células eucariotas han desarrollado una variedad de complejos proteicos conocidos como cubiertas que han sido diseñadas para este propósito.

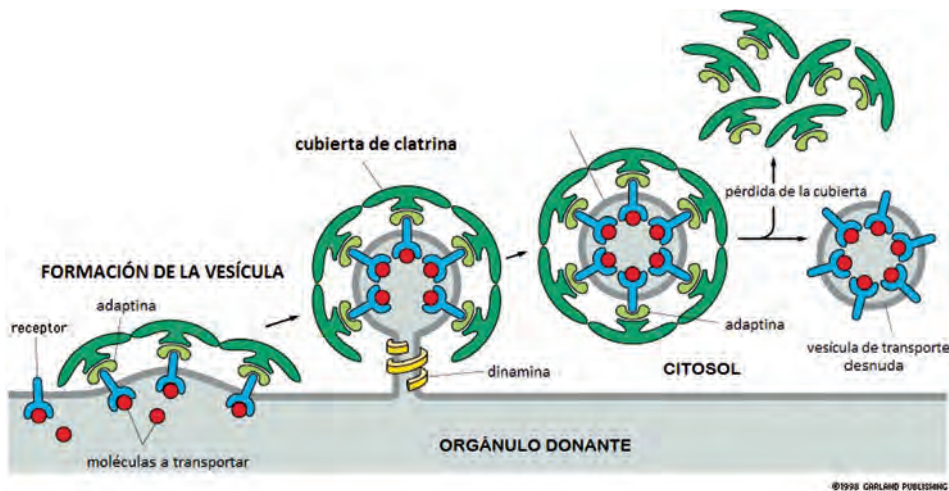
En esencia, las cubiertas de las vesículas polimerizan en la superficie de la membrana del compartimento de origen (donador), induciendo simultáneamente la recolección del cargamento de moléculas en la vesícula en formación y proporcionando, al menos, una parte de la fuerza conductora para deformar un segmento de la membrana donadora para formar la vesícula. Se han identificado diversos sistemas de recubrimiento, cada uno de ellos con arquitectura y propiedades dinámicas únicas. Las distintas propiedades estructurales y mecánicas de los sistemas de recubrimiento derivan de su uso en las etapas específicas de la red del tráfico vesicular. Por ejemplo, el sistema de recubrimiento con clatrina parece ser que se emplea en una rama de vías endocíticas, donde el material del exterior de la célula se internaliza, y en las últimas etapas de las vías exocíticas, donde el material se transporta desde dentro de la célula hacia el exterior. Por el contrario, el sistema COP-I se utiliza en el aparato de Golgi para formar vesículas de transporte retrógrado, y el sistema en el retículo endoplásmico para formar vesículas de transporte anterógrado.

Por tanto, los complejos generadores de la cubierta de las vesículas que se conocen hasta el momento son: la clatrina, en la red *trans* Golgi (TGN) y en la membrana plasmática; el complejo COP-I, en el aparato de Golgi; y el complejo COP-II, en el retículo endoplásmico. Estos complejos proteicos contienen elementos que reconocen las señales de destino presentes en las moléculas que serán transportadas, seleccionándolas para entrar en una vesícula de transporte en el momento de su formación. La vesícula de transporte también incorpora una parte de un complejo de fusión (v-SNARE), que al interactuar con su contraparte presente

en la membrana objetivo (t-SNARE) determina su fusión con esa y no con otra membrana. Diversas proteínas GTPasas aportan eventos reguladores importantes para la vectorialidad y especificidad del transporte vesicular.

La polimerización de la cubierta no es suficiente para completar el proceso de formación de la vesícula. El abombamiento de la membrana mediante la unión de la cubierta finaliza inevitablemente con la formación de un cuello estrecho de membrana que conecta la vesícula en formación a la membrana donadora. La escisión de este cuello de membrana se requiere para la liberación de la vesícula de transporte. El proceso de ruptura de la membrana se denomina “fisión” y requiere una familia de proteínas altamente especializadas que reconoce, envuelve y corta el cuello de membrana utilizando la energía libre de la hidrólisis del GTP o ATP. La dinamina es el miembro de esta gran y esencial familia de maquinarias cortantes.

Estos procesos son comunes a todos los tipos de vesículas. El proceso global se representa en la figura 7.



**Figura 7.** Formación de vesículas revestidas de clatrina. Este proceso requiere la interacción de varios componentes: el receptor de la carga molecular, la adaptina, la proteína de revestimiento (COP o clatrina) y la dinamina. El punto esencial es que la proteína de revestimiento trae consigo la formación del brote y la concentración de la carga proteica (Garland Pub, 1998).

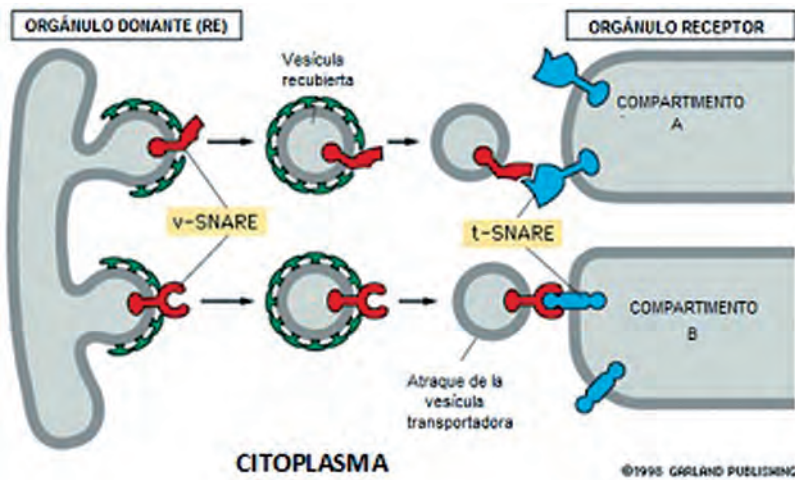
El proceso completo comprende:

- La proteína de revestimiento (clatrina) forma la configuración de la curva de la membrana del compartimento donador. Este es el resultado de la interacción de las moléculas proteicas de revestimiento, unas con otras, para formar un pliegue en la membrana donadora.
- Las moléculas que van a ser transportadas son recogidas por un receptor específico que es una proteína transmembrana, cuyo lugar de unión de las moléculas se encuentra en el lado del lumen de la proteína.
- El complejo receptor/molécula es reconocido por la adaptina y se combina con su cara citoplasmática.
- El compuesto moléculas/receptor/adaptina se combina con la proteína de revestimiento en la superficie citoplasmática. Esto es muy importante para la correcta selección y concentración del cargamento de moléculas. Las moléculas de revestimiento, a su vez, tienen sitios de unión para la adaptina (receptores) y carga molecular. Esto proporciona una concentración de moléculas en el área donde la vesícula se está formando.
- La dinamina constriñe el cuello de la vesícula y la arranca. Este es un proceso dependiente de ATP.
- Después de desprendida, la vesícula pierde la cubierta y está lista para el transporte.
- El transporte de las vesículas en distancias cortas se realiza por difusión, y en caso de distancias largas se realiza a través de los microtúbulos movidas por proteínas motoras.

### ***Reconocimiento de las vesículas y especificidad del transporte vesicular***

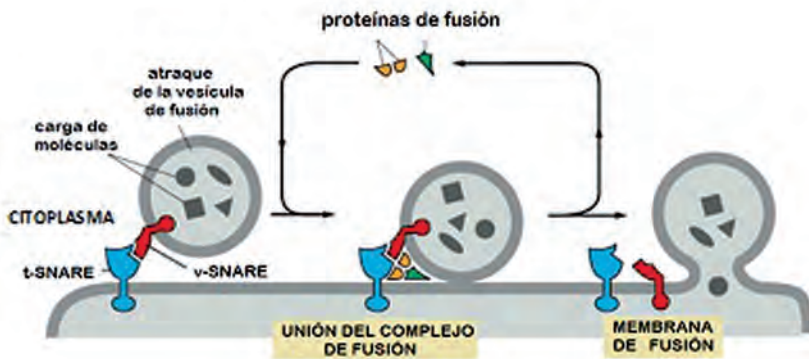
La unión ha de ser específica. Como se ha mencionado anteriormente, la especificidad viene asegurada por la intervención de las proteínas SNARE v y t, que están incorporadas, la primera, a la membrana vesicular formada en el orgánulo donante, y la segunda a la membrana del compartimento de destino, verificándose la unión por la interacción específica entre ambas proteínas (figura 8).





**Figura 8.** Las vesículas se forman a modo de brote en la membrana del orgánulo donante RE (retículo endoplásmico), llevando anclado en su membrana a v-SNARE. La vesícula desprendida y recubierta, viaja a través de los microtúbulos celulares hacia el orgánulo receptor. Una vez que ha perdido la cubierta, se inserta en el compartimento receptor, o de destino, mediante la unión de v SNARE y t SNARE (Garland Pub, 1998).

Una vez que la vesícula entra en contacto con la membrana de destino, varias proteínas del “complejo de fusión” se unen para fusionar las membranas (figura 9).



**Figura 9.** Fusión de la vesícula de transporte. Después de la unión de la vesícula de transporte con la membrana del destino, un complejo proteico de fusión de membranas se reúne en el sitio de unión y cataliza la fusión de la membrana de la vesícula con la membrana del lugar de destino.

En resumen, el transporte vesicular se realiza en tres etapas:

a) Selección del cargamento molecular: diversas proteínas adaptadoras se acoplan con las señales de moléculas específicas de la maquinaria de transporte.

b) Formación de la vesícula: las proteínas del revestimiento promueven la formación de la vesícula de transporte a partir de la membrana del compartimento donador, y una vez formada, la desprenden (fisión) y liberan. Una notable variedad de revestimientos facilita la formación de la vesícula a partir de diferentes compartimentos exocíticos y endocíticos.

c) Reconocimiento y fusión final de la vesícula con el compartimento de destino. Diversas proteínas de reconocimiento y fusión asociadas a las membranas dirigen la vesícula de transporte al correcto compartimento de destino.

## ■ El tráfico de vesículas y su importancia en medicina

Las investigaciones de Rothman, Schekman y Südhof han desentrañado secretos de la maquinaria esencial para encaminar la carga molecular en células procedentes de organismos tan distantes como la levadura y el hombre. Estos descubrimientos han tenido gran impacto en nuestro conocimiento de cómo las moléculas se disponen en los lugares precisos en la célula. A la luz de estos conocimientos, no es sorprendente que las alteraciones en cualquiera de las muchas etapas de esta maquinaria que controla el transporte y fusión de estas vesículas, se asocien con la enfermedad.

El transporte y fusión de las vesículas es esencial para diversos procesos fisiológicos que van desde el control de la comunicación entre células nerviosas en el cerebro hasta la respuesta inmunológica y hormonal. La alteración de este sistema de transporte se asocia lógicamente con enfermedades de distinto tipo. Por ejemplo, enfermedades metabólicas tales como la diabetes tipo 2, se caracterizan por alteraciones tanto en la secreción de insulina a partir de las células beta del páncreas, como en la translocación del transportador de la glucosa mediado por insulina en músculo esquelético y tejido adiposo. Por otro lado, las células inmunes dependen del tráfico funcional de las vesículas para el envío de citoquinas y moléculas inmunológicas efectoras, que median las respuestas inmunes innata y adaptativa.



Además de estas conexiones generales entre la fusión vesicular y la enfermedad, se han descubierto mutaciones específicas en genes que codifican las proteínas implicadas en la maquinaria de fusión, que dan lugar a un número de enfermedades. Por ejemplo, se han descrito que ciertas formas de epilepsia se deben a mutaciones en el gen que codifica la proteína MUNC-18-1. También, en un grupo de pacientes que sufrían de Linfocitosis hemofagocítica familiar (FHL), se han encontrado mutaciones en los genes que codifican las proteínas MUNC13-4, MUNC18-2 y syntaxina-11. En estos pacientes, las llamadas células naturales asesinas (NK) fracasan al no poder regular apropiadamente sus funciones, lo que ocasiona hiperinflamación, a veces letal. También ciertas toxinas bacterianas se fijan a la maquinaria de fusión vesicular. El botulismo causado por la bacteria anaeróbica *Clostridium botulinum*, es una enfermedad que produce parálisis y la mayoría de toxinas se fijan a SNAP-25, VAMP/sinaptobrevina y syntaxina, e inhiben la liberación de acetilcolina en la unión neuromuscular. La neurotoxina tetánica de *Clostridium tetani* actúa sobre VAMP/sinaptobrevina en las interneuronas inhibitoras y bloquea la liberación de GABA o glicina produciendo una parálisis espástica (figura 4). Por tanto, Rothman, Schekman y Südhof con sus investigaciones, han aclarado los mecanismos de estas enfermedades proporcionando la posibilidad de tratamientos prospectivos.

## ■ Conclusiones

Los descubrimientos de James E. Rothman, Randy W. Schekman y Thomas C. Südhof han puesto de manifiesto algunos de los procesos fundamentales en el funcionamiento de las células eucariotas, procesos que aseguran el intercambio de las moléculas de manera correcta. Estos hallazgos han tenido un impacto extraordinario, pues han hecho conocer cómo se verifica la comunicación celular mediante el envío de moléculas a sus destinos específicos, dentro y fuera de la célula. El transporte y fusión de las vesículas opera con los mismos principios generales en organismos tan diferentes como la levadura y el hombre. Es crítico para una gran variedad de situaciones fisiológicas en las cuales la fusión vesicular ha de ser controlada en multitud de procesos. Sin esta organización exquisita y precisa la célula sería incapaz de mantener su función.

## ■ Agradecimientos

Queremos expresar nuestro reconocimiento a la inestimable ayuda prestada por Doña Adoración Urrea Salazar en la búsqueda de bibliografía y preparación de figuras.

## ■ Abreviaturas

COP I y II, proteínas de la cubierta I y II; GABA, gamma aminobutirato; GDI, inhibidor de la disociación de GDF; GDF, proteína intercambiadora de nucleótidos de guanina; GDP, guanosina difosfato; GTP, guanosina trifosfato; FHL, linfocitosis hemofagocítica; LDL, lipoproteínas de baja densidad (*low density lipoproteins*); NK, células naturales asesinas (*natural killers*); NSF, factor sensible a la N-etilmaleimida (*N-ethylmaleimide-sensitive factor*), ATPasa; Rab, GTPasa; SM, proteína producto del gen *Munch 18-1*(sec/Much); SNAP, proteína soluble de unión al NSF (*soluble NSF attachment protein*) (*25kDa synaptosome associates protein*); SNARE, (*soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein receptor*) receptor de SNAP; TNG, red trans Golgi; VAMP, proteína de membrana asociada a vesícula/sinaptobrevina; VSV, virus de la estomatitis vesicular; VSV-G, proteína del virus VSV.

## ■ Bibliografía consultada

- Bacaj, J., Pang, Z.P., Südhof, T.C. (2010). Testing the SNARE/SM protein model of membrane PNAS 107, 22365-22366.
- Balch, W.E., Dunphy, W.G., Braell, W.A., Rothman, J.E. (1984). Reconstitution of the transport of protein between successive compartments of the Golgi measured by the coupled incorporation of N-acetylglucosamine. *Cell* 39, 405-416.
- Balch, W.E., Glick, B.S., Rothman, J.E. (1984). Sequential intermediates in the pathway of intercompartmental transport in a cell-free system. *Cell* 39, 525-536.
- Block, M.R., Glick, B.S., Wilcox, C.A., Wieland, F.T., Rothman, J.E. (1988). Purification of an N-ethylmaleimide-sensitive protein catalyzing vesicular transport. *Proc Natl Acad Sci USA* 85, 7852-7856.
- Braell, W.A., Balch, W.E., Dobberty, D.C., Rothman, J.E. (1984). The glycoprotein that is transported between successive compartments of the Golgi in a cell-free system resides in stacks of cisternae. *Cell* 39, 511-524.
- Bustillo-Merino, D., Gutiérrez-Martín, Y., Rodríguez Artalejo, A. (2009). La maquinaria molecular de la endocitosis. RANF, Monografía 29, pp 71-99. Madrid.

- Clary, D.O., Griff, I.C., Rothman, J.E. (1990). SNAPs, a family of NSF attachment proteins involved in intracellular membrane fusion in animals and yeast. *Cell* 61, 709-721.
- Eakle, K.A., Bernstein, M., Emr, S.D. (1988). Characterization of a component of the yeast secretion machinery: identification of the SEC18 gene product. *Mol Cell Biol* 8, 4098-4109.
- Fasshauer, D., Sutton, R.B., Brunger, A.T., Jahn, R. (1998). Conserved structural features of the synaptic fusion complex: SNARE proteins reclassified as Q and R-SNAREs. *PNAS USA* 95, 15781-15786.
- Fernández-Chacón, R., Königstorfer, A., Gerber, S.H., García, J., Matos, M.F., Stevens, C.F., Brose, N., Rizo, J., Rosenmund, C., Südhof, T.C. (2001). Synaptotagmin I functions as a calcium regulator of release probability. *Nature* 410, 41-49.
- Fries, E., Rothman, J.E. (1980). Transport of vesicular stomatitis virus glycoprotein in a cell-free extract. *Proc Natl Acad Sci USA* 77, 3870-3874.
- Geppert, M., Goda, Y., Hammer, R.E., Li, C., Rosahl, T.W., Stevens, C.F., Südhof, T.C. (1994). Synaptotagmin I: a major  $\text{Ca}^{2+}$  sensor for transmitter release at a central synapse. *Cell* 79, 717-727.
- Glick, B.S., Rothman, J.E. (1987). Possible role for fatty acyl-coenzyme A in intracellular protein transport. *Nature* 326, 309-312.
- Griff, I.C., Schekman, R., Rothman, J.E., Kaiser, C.A. (1992). The yeast SEC17 gene product is functionally equivalent to mammalian alpha-SNAP protein. *J Biol Chem* 267, 12106-12115.
- Hata, Y., Slaughter, C.A., Südhof, T.C. (1993). Synaptic vesicle fusion complex contains unc-18 homologue bound to syntaxin. *Nature* 366, 347-351.
- Kaiser, C.A., Schekman, R. (1990). Distinct sets of SEC genes govern transport vesicle formation and fusion early in the secretory pathway. *Cell* 61, 723-733.

- Malhotra, V., Orci, L., Glick, B.S., Block, M.R., Rothman, J.E. (1988). Role of an N-ethylmaleimide-sensitive transport component in promoting fusion of transport vesicles with cisternae of the Golgi stack. *Cell* 54, 221-227.
- McNew, J.A., Parlati, F., Fukuda, R., Johnston, R.J., Paz, K., Paumet, F., Sollner, T.H., Rothman, J.E. (2000). Compartmental specificity of cellular membrane fusion encoded in SNARE proteins. *Nature* 407, 153-159.
- McMahon, H.T., Missler, M., Li, C., Sudhof, T.C. (1995). Complexins: cytosolic proteins that regulate SNAP receptor function. *Cell* 83, 111-119.
- Novick, P., Schekman, R. (1979). Secretion and cell-surface growth are blocked in a temperature-sensitive mutant of *Saccharomyces cerevisiae*. *Proc Natl Acad Sci USA* 76, 1858-1862.
- Novick, P., Field, C., Schekman, R. (1980). Identification of 23 complementation groups required for post-translational events in the yeast secretory pathway. *Cell* 21, 205-215.
- Novick, P., Ferro, S., Schekman, R. (1981). Order of events in the yeast secretory pathway. *Cell* 25, 461-469.
- Palade, G. (1975). Intracellular aspects of the process of protein secretion. *Science* 189, 347-358.
- Perin, M.S., Fried, V.A., Mignery, G.A., Jahn, R., Sudhof, T.C. (1990). Phospholipid binding by a synaptic vesicle protein homologous to the regulatory region of protein kinase C. *Nature* 345, 260-263.
- Reim, K., Mansour, M., Varoqueaux, F., McMahon, H.T., Sudhof, T.C., Brose, N., Rosenmund, C. (2001). Complexins regulate a late step in  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent neurotransmitter release. *Cell* 104, 71-81.
- Rizo, J. (2007). Proteínas SNARE. El corazón de la maquinaria de fusión intracelular. *Investigación y Ciencia*, Enero, pp. 31-32.
- Rohman, J.E. (2012). The future of Golgi apparatus research. *Mol Biol Cell* 21, 3776-3780.

Scales, S.J., Bock, J.B., Scheller, R.H. (2000). The specifics of membrane fusion. *Nature* 407, 144-146.

Schiavo, G., Benfenati, F., Poulain, B., Rossetto, O., Polverino de Laureto, P., Das-Gupta, B.R., Montecucco, C. (1992). Tetanus and botulinum-B neurotoxins block neurotransmitter release by proteolytic cleavage of synaptobrevin. *Nature* 359, 832-835.

Sollner, T., Whiteheart, S.W., Brunner, M., Erdjument-Bromage, H., Geromanos, S., Tempst, P., Rothman, J.E. (1993). SNAP receptors implicated in vesicle targeting and fusion. *Nature* 362, 318-324.

Suton, R.B., Fasshauer, D., Jahn, R., Brunger, A.T. (1998). Crystal structure of a SNARE complex involved in synaptic exocytosis at 2.4 Å resolution. *Nature* 395, 347-353.

Verhage, M., Maia, A.S., Plomp, J.J., Brussaard, A.B., Heeroma, J.H., Vermeer, H., Toonen, R.F., Hammer, R.E., van den Berg, T.K., Missler, M., Geuze, H.J., Sudhof, T.C. (2000). Synaptic assembly of the brain in the absence of neurotransmitter secretion. *Science* 287, 864-869.

[www.jolugar.webs.ull.es](http://www.jolugar.webs.ull.es)

Weber, T., Zemelman, B.V., McNew, J.A., Westermann, B., Gmachl, M., Parlati, F., Sollner, T.H., Rothman, J.E. (1998). SNARE pins: minimal machinery for membrane fusion. *Cell* 92, 759-772.

Wilson, D.W., Wilcox, C.A., Flynn, G.C., Chen, E., Kuang, W.J., Henzel, W.J., Block, M.R., Ullrich, A., Rothman, J.E. (1989). A fusion protein required for vesicle-mediated transport in both mammalian cells and yeast. *Nature* 339, 355-359.

Zierath, J.R., Lendahl, U. (2013). Karolinska Institutet. The Nobel Price Foundation.

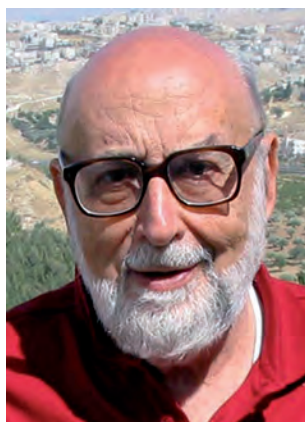
# Premio Nobel de Física 2013

## EL BOSÓN DE HIGGS

Rafael Bachiller García



Peter W. Higgs



François Englert

El día 8 de octubre de 2013 la Academia Nobel anunció la concesión del Premio Nobel de Física 2013 a los Doctores Peter W. Higgs y François Englert por *“el descubrimiento teórico de un mecanismo que contribuye a nuestra comprensión del origen de la masa de las partículas subatómicas, y que ha sido confirmado recientemente mediante el descubrimiento de la partícula fundamental predicha, por los experimentos ATLAS y CMS del Gran Colisionador de Hadrones del CERN”*.

Este premio seguía pues al descubrimiento anunciado por el CERN en un gran evento mediático el día 4 de julio de 2012 de una nueva partícula fundamental con propiedades similares a las predichas para el bosón de Higgs, partícula clave del Modelo Estándar de la física de partículas. Según sus descubridores esta nueva partícula era realmente el bosón de Higgs “más allá de cualquier duda razonable”.

Aunque predicho en 1964 por 6 físicos entre los que se encontraban los Doctores Higgs, Englert y Brout, la detección del bosón escalar que se supone res-

ponsable de la masa de las partículas elementales necesitó de casi medio siglo de trabajos de millares de físicos, de la construcción del LHC, el mayor acelerador de partículas del mundo, y de dos años de intensas y delicadas medidas con este instrumento.

Pero la historia del bosón de Higgs comienza mucho antes, se remonta a la Grecia Antigua, momento en el que se empezó a estudiar la estructura de la materia con cierto método científico.

## ■ Introducción: átomos y vacío

“Nada existe, excepto átomos y espacio vacío; lo demás es opinión”. Así resumía y sentenciaba Demócrito de Abdera sus ideas, y la de su maestro Leucipo, sobre la estructura de la materia hace unos 2.500 años. En el siglo XX estas palabras cobraron una dimensión muy especial. Naturalmente los átomos de Demócrito, las entidades residuales del proceso de división de la materia que no puede continuar indefinidamente, no se corresponden con nuestros átomos, los de la física actual, constituidos por un núcleo rodeado por un enjambre de electrones.

Los átomos de Demócrito se corresponden mejor hoy con los quarks, pero es un concepto que sigue de plena actualidad, como de plena actualidad sigue la importancia del vacío evocada por el gran filósofo de Abdera. En efecto, nuestro átomo no es más que una entidad esencialmente vacía, en cuyas profundidades reside el diminuto núcleo hecho a su vez de quarks. Pero la física actual nos asegura que el espacio vacío no es lo mismo que la nada. Al asegurar que “nada existe, excepto átomos y espacio vacío”, Demócrito nos adelanta un concepto fundamental de la ciencia moderna: el concepto de campo de energía. En el vacío pueden residir un campo tan importante como el gravitatorio o el electromagnético, ingredientes esenciales de la realidad, responsables de la estructura del universo exactamente al mismo nivel que las partículas elementales (y de hecho representados por otras partículas adicionales).

Con el pretexto del bosón de Higgs, una partícula que representa uno de esos campos fundamentales (el campo de Higgs), este artículo narra una gran aventura de la humanidad: el estudio de la estructura de la materia que ha desembocado en la caza exhaustiva del escurridizo bosón. Aunque partiendo de la ciencia básica, estos estudios de la materia han tenido un impacto enorme en la construcción de

todo el mundo moderno. Todos los métodos de obtención de energía, todos los desarrollos de nuevos materiales y de los compuestos químicos, tienen su raíz en el estudio de la materia y de las partículas elementales.

## ***De Empédocles a Gell-Mann***

En paralelo con los atomistas Leucipo y Demócrito (460-370 a.C.), Empédocles de Agrigento (ca. 492-ca. 432 a.C.) había desarrollado un modelo del mundo en el que 4 'raíces' o sustancias diferentes (agua, aire, fuego y tierra) podrían combinarse siguiendo las fuerzas denominadas Amor (φιλία) y Odio (νεῖκος) para dar lugar a toda la materia visible. Estas ideas fueron desarrolladas más aún por Platón (ca. 427-347 a.C.) que asoció las cuatro sustancias a cuatro formas geométricas fundamentales que podían constituirse a partir de triángulos simples. Las cuatro sustancias fueron después denominadas 'elementos' por Aristóteles (384-322 a.C.), quien añadió el éter como quinto elemento para constituir los objetos celestes. En todos estos estudios, subyace la idea de que si la materia fuese indivisible infinitamente se llegaría a la no-existencia, por lo que parece más plausible disponer de unos pequeños ladrillos básicos e indivisibles, los átomos, con los que construir todo lo que vemos.



Empédocles por Luca Signorelli, Capilla de San Brizio. Orvieto

El estudio de la gravitación por Galileo y después por Newton dio claves importantes sobre la acción de las fuerzas a distancia y la noción de campo que conlleva. En particular, el concepto de 'campo' físico, que permite asociar una magnitud física a una determinada región del espacio, se extendió muy substancialmente posibilitando niveles de abstracción más altos y, por tanto, mayor generalidad en el tratamiento de los procesos físicos.

Pero estos estudios sobre la acción a distancia entre partículas y graves no tuvo gran incidencia en la comprensión de la estructura íntima de la materia, que no daría un paso adelante fundamental hasta que el físico británico J.J. Thomson (Premio Nobel de Física en 1906) descubrió el electrón en 1897. En sus experi-



mentos, Thomson demostró que los rayos catódicos estaban constituidos por esas partículas que no habían sido detectadas antes y que tenían una masa que no alcanzaba a la milésima parte del ion hidrógeno. La carga del electrón fue medida por Millikan en 1909 mediante su experimento de la gota de aceite, sin duda uno de los más bellos de la historia de la física. Por este y otros trabajos, Millikan recibió el Premio Nobel en 1923.

El neozelandés Ernest Rutherford descubrió el núcleo atómico en 1911 mientras trabajaba en la Universidad de Manchester, lo que le llevó a elaborar el primer modelo atómico: un modelo ‘planetario’ en el que toda la carga positiva y un altísimo porcentaje de la masa deben estar confinadas en el pequeño núcleo, mientras que los electrones, portadores de la carga negativa se mueven en su entorno. Rutherford, también fue Premio Nobel: fue distinguido en 1908 con el de química, lo que le ocasionó una cierta aflicción, pues él se consideraba ante todo físico y tenía a la física como la mayor de las ciencias. Según su famosa expresión: “La ciencia o es física, o es coleccionar sellos”.

El desarrollo de la mecánica cuántica al principio de los años 1920 cambió radicalmente nuestra imagen del electrón. Lejos de ser una simple y pequeña ‘bolita’, el electrón poseía características insospechadas. Sobre todo, poseía un carácter dual onda-partícula, lo que imponía una descripción mediante una función de ondas deslocalizada. Para explicar algunas características de los espectros atómicos, hacia 1925 emergió una nueva propiedad del electrón: el espín, una especie de momento angular intrínseco que se comporta de manera muy diferente al momento angular de la física clásica. De hecho, se piensa hoy que imaginar el espín como una rotación de la partícula no es más que una metáfora visual para tratar de hacer intuitiva esta propiedad mecanocuántico-relativista, que no tiene nada de intuitivo.

El austríaco Wolfgang Pauli enunció su sorprendente principio de exclusión en 1925 (por el que mereció el Nobel en 1935), según esta norma es imposible que dos electrones –en un átomo– puedan tener la misma energía, el mismo lugar, e idénticos números cuánticos. Poco después, Paul Dirac (Premio Nobel de Física en 1933) desarrolló una ecuación relativista, la conocida como ‘ecuación de Dirac’ que describe al electrón con su espín. Pero lo más fascinante de esta ecuación es que admitía una solución adicional para una partícula similar al electrón pero con carga positiva. Dirac predijo así la existencia del positrón (que sería encontrado en los rayos cósmicos por Carl Anderson en 1932), enunció las primeras ideas sobre

la antimateria, y realizó una formulación del vacío como un mar (el 'mar de Dirac') que debía estar lleno de partículas con energía negativa.

Poco después de 1932, cuando James Chadwick (Nobel en 1935) descubrió el neutrón, se disponía de todos los ingredientes necesarios para formar la materia. Todos los átomos de todos los elementos de la tabla periódica estaban constituidos por protones, neutrones y electrones; y la masa parecía no tener misterios, sino que se nos presentaba como una propiedad natural de esas partículas elementales. Sin embargo, se sabía que la masa no es indestructible, pues Einstein en 1905 ya había anunciado que masa y energía son intercambiables según la fórmula física más famosa del mundo:  $E = mc^2$ . La masa podía ser considerada como una reserva poderosísima de energía, algo que tendría unas consecuencias terribles cuando, 60 años más tarde, se llevaron a la práctica estas ideas teóricas para construir la bomba atómica.

También se sabía que, al menos, algunas de estas partículas no eran completamente estables. Por ejemplo, los experimentos de Rutherford sobre la radioactividad beta había que explicarlos mediante la desintegración de un neutrón en un protón y un electrón, y la falta de energía que se observaba en este proceso fue explicada en 1930 por Pauli mediante la introducción del neutrino (que no se detectaría hasta 1956).

Feynman, Schwinger y Tomonaga (quienes recibieron el Nobel en 1965) pondrían en orden todas las ideas existentes en 1948 mediante el desarrollo de una nueva teoría: la electrodinámica cuántica. Las fuerzas de atracción y repulsión entre partículas se transmitían por otras partículas que iban asociados a los campos correspondientes. Si el fotón era la partícula mediadora de la interacción electromagnética, tenía que haber otras partículas mediadoras capaces de mediar en la interacción nuclear fuerte (responsable de las fuerzas que mantienen unidos los núcleos atómicos) y en la interacción débil (responsable de la desintegración beta).

Entre tanto, el número de partículas elementales descubiertas no dejaba de crecer. Al descubrimiento del mesón mu en 1936 realizado por Anderson en los rayos cósmicos, siguió el del mesón pi y el de los kaones  $K^+$ ,  $K^-$  y  $\Lambda^0$ . Los grandes desarrollos experimentales de los años 1950 y, poco después, el nuevo acelerador europeo en Ginebra (CERN) y el estadounidense en Brookhaven, que entraron en funcionamiento en 1959-1960, pusieron de manifiesto toda una plétora de partículas.

A principios de los 1960, Sheldon Glashow (Nobel en 1979) unificó en una única teoría la descripción de la interacción electromagnética y la de la débil y, como una consecuencia natural, las partículas mediadoras de la interacción débil (designadas por  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$ ) debían poseer masa, estableciendo así una diferencia muy sustancial con la interacción electromagnética, cuya partícula mediadora (el fotón) no tenía masa.

Por su parte, Murray Gell-Mann (Nobel en 1969) se encontraba estudiando la interacción nuclear fuerte y acuñó el término ‘extrañeza’ para describir una propiedad fundamental de las partículas, un nuevo número cuántico, que debía conservarse en la descomposición de las partículas en reacciones fuertes y electromagnética que ocurren en un corto período. La teoría de Gell-Mann aportó orden al caos existente cuando ya se conocían cerca de 100 partículas elementales. En 1964, Gell-Mann hizo la hipótesis de que todas las partículas conocidas (salvo los leptones y el fotón) estaban formadas por otras partículas más elementales llamadas quarks. Los quarks se mantendrían unidos gracias al intercambio de gluones. Junto con otros investigadores se construyó así la teoría cuántica de quarks y gluones, llamada hoy cromodinámica cuántica.



Murray Gell-Mann, Joi

Así pues, durante el largo camino recorrido por el conocimiento desde Empédocles a Gell-Mann, el ‘átomo’ de Demócrito sufrió una radical transformación pues, según las ideas actuales, se parecería mucho más a un quark que a un átomo en sentido moderno. Aunque la moderna teoría de partículas sea también atomista, lo que hoy llamamos átomo nos aparece como una entidad sumamente compleja que no tiene nada de indivisible. Veremos que, de hecho, los ‘átomos’ que imaginaron los griegos se corresponden con los quarks y los leptones; mientras que las fuerzas que mantienen

aglomerada la materia, el Amor y el Odio de Empédocles, se han convertido hoy en otras de nombres mucho menos poéticos: las fuerzas gravitatoria, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte.

## ■ Conservación y simetría

Emmy Noether fue una mujer absolutamente excepcional. Nacida en Baviera en 1882, de padre matemático, Emmy estudió idiomas y pudo dedicarse a su enseñanza. Pero en lugar de ello, tomó una decisión muy difícil para una mujer en su época: estudiar ciencias exactas, disciplina en la que obtuvo un doctorado en 1907. Durante los 7 años siguientes impartió clases en la Universidad de Erlangen sin recibir ninguna remuneración, pues prácticamente no había oportunidades allí para una mujer intentando dedicarse a una disciplina considerada exclusivamente masculina en la Alemania de la época.



Emmy Noether

Noether envió sus trabajos a David Hilbert, en la Universidad de Gotinga y este último, impresionado por la labor de la mujer, la invitó a reunirse con él en 1915. Pero para obtener un puesto en Gotinga, Noether se encontró con toda la resistencia de la inmensa mayoría del claustro. “¿Qué pensarán nuestros soldados cuando vuelvan a la universidad y encuentren que se les pide que aprendan poniéndose a los pies de una mujer?” argumentaban. Pero el gran Hilbert respondió indignado “No veo porqué el sexo de un candidato pueda ser un argumento en contra de su admisión como *privatdozent*. Después de todo, somos una universidad, no un establecimiento de baños” y, afortunadamente, consiguió el puesto para Noether. Con el tiempo Noether, sería considerada la mujer más importante de la historia de las matemáticas por David Hilbert y por el propio Albert Einstein.

Emmy Noether revolucionó el álgebra de anillos y cuerpos. Pero su mayor contribución en el contexto que nos ocupa en este artículo fue la enunciación, en 1915, del teorema que lleva su nombre y que describe la conexión fundamental que existe entre las leyes de conservación de las magnitudes físicas y la simetría de las leyes de la física. Según el teorema de Noether, la conservación de magnitudes como el momento y la energía puede deducirse a partir del comportamiento de las leyes que las describen ante operaciones de ciertas transformaciones continuas de simetría.

A menudo pensamos en operaciones de simetría de tipo discreto (como la reflexión especular), pero en física también se utiliza el concepto de simetría conti-

nua, por ejemplo una traslación espacial o temporal (que puede ser realizada mediante un desplazamiento continuo en el espacio o en el tiempo), o una rotación (que puede ser realizada variando el ángulo de manera continua). Por ejemplo, el hecho de que las leyes de la física sean simétricas respecto del tiempo implica la conservación de la energía.

El matemático alemán Hermann Weyl estudió de manera concienzuda el teorema de Noether mientras trabajaba sobre la teoría de grupos de transformaciones simétricas continuas denominados grupos de Lie (en honor del matemático noruego que los describió en el siglo XIX). En 1918, Weyl concluyó que las leyes de conservación están íntimamente relacionadas con transformaciones *locales* de simetría a las que asignó el término genérico de ‘simetrías gauge’. Este término, tan críptico como poco afortunado, le fue sugerido a Weyl mientras pensaba en las simetrías entre diferentes puntos del espacio-tiempo, como en el ejemplo del tren que va desplazándose sobre raíles que están espaciados por un ancho (‘gauge’ en inglés) que se mantiene constante, reflejando el hecho de que el factor de escala se mantiene invariable en la transformación.

El desarrollo de la mecánica ondulatoria de Schrödinger permitió hacer una conexión con el grupo de Lie  $U(1)$ , que describe transformaciones de simetría totalmente análogas a la rotación, pero en el plano complejo. De la simetría de la función de ondas de un electrón respecto del grupo  $U(1)$  puede deducirse la ley de conservación de la carga. Se dice que el electromagnetismo es una teoría  $U(1)$ .

La teoría cuántica de la interacción fuerte, desarrollada por Cheng-Ning Yang (Premio Nobel, 1957) y Robert Mills en 1954, se basó en la conservación de una nueva magnitud física, el isospín (o espín isotópico), que conllevaba una simetría de tipo  $SU(2)$  en las ecuaciones que describían el neutrón y el protón. Una modificación de esta teoría realizada por Sheldon Glashow (Nobel en 1979), permitió en 1961 unificar en una única teoría la descripción de la interacción electromagnética y la de la débil. Las leyes de esta teoría obedecían a una simetría del tipo  $SU(2) \times U(1)$ . Simultáneamente, en sus estudios de la interacción fuerte, Gell-Mann estaba introduciendo el grupo de simetrías  $SU(3)$  para clasificar todas las partículas estables bajo la influencia de la interacción fuerte.

## ■ El Modelo Estándar

A falta de una teoría del todo que reduzca el comportamiento de la materia y de la energía a unos pocos principios muy básicos, el Modelo Estándar es la teoría considerada hoy más completa y aceptada que cumple con tal cometido aunque considere un conjunto de leyes no bien unificadas. El Modelo Estándar está compuesto de la teoría electrodébil y la cromodinámica cuántica. Como hemos visto más arriba, la primera, describe las interacciones electromagnética y débil en un conjunto de ecuaciones unificado, mientras que la cromodinámica describe el comportamiento de los quarks. El aparato matemático mediante el que se expresa el Modelo Estándar ha venido a denominarse teoría cuántica de campos.

Para simplificar, podemos dividir los conceptos principales del Modelo Estándar en tres partes: (1) partículas de materia, (2) partículas mediadoras de las interacciones y (3) bosón de Higgs.

### 1. Partículas de materia

La materia está constituida por 12 partículas fundamentales, todas ellas fermiones de espín  $\frac{1}{2}$ . Estas partículas son 6 leptones y 6 quarks. Los fermiones siguen el principio de exclusión de Pauli: no puede haber dos partículas iguales con un estado igual de espín. Esto es lo que confiere a la materia su característica impenetrabilidad.

Los 6 leptones son tres de tipo 'down': el electrón, el muón y el tau y tres de tipo 'up': neutrinos, cada uno de ellos asociado con uno de los tres primeros leptones.

Tres generaciones de la materia (fermiones)

	I	II	III	
masa →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	<b>u</b> arriba	<b>c</b> encanto	<b>t</b> cima	<b>γ</b> fotón
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	<b>d</b> abajo	<b>s</b> extraño	<b>b</b> fondo	<b>g</b> gluón
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> neutrino electrónico	<b>ν<sub>μ</sub></b> neutrino muónico	<b>ν<sub>τ</sub></b> neutrino tauónico	<b>Z<sup>0</sup></b> bosón Z
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	±1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptones	<b>e</b> electrón	<b>μ</b> muón	<b>τ</b> tauón	<b>W<sup>±</sup></b> bosón W
				Bosones de gauge

Partículas elementales del Modelo Estándar

Los 6 quarks fundamentales también se pueden agrupar en dos tríos: uno de tipo 'up': *up*, *top* y *charm*; y tres de tipo 'down': *down*, *bottom* y *strange*; es decir: arriba, culmen y encanto; y abajo, fondo y extraño.

Cada una de estas partículas tiene algunas propiedades bien definidas y que resultan de los principios generales del Modelo Estándar: los leptones de tipo down tienen carga electromagnética  $-1$ , mientras que los de tipo 'up' tienen carga electromagnética  $0$ . Los quarks tipo up (*up*, *top* o *charm*) llevan una carga eléctrica de  $+2/3$ , y los tipo down (*down*, *strange* y *bottom*) llevan una carga eléctrica de  $-1/3$ .

De manera similar a como la interacción electromagnética se describe con la ayuda de la carga eléctrica, la interacción fuerte entre los quarks se describe mediante tres cargas de color, que son denominadas, por simple conveniencia, roja, verde y azul. Los leptones no tienen carga de color y no están sometidos a la interacción fuerte.

Leptones y quarks están sometidos a la interacción nuclear débil, que se describe mediante varias cargas de 'sabor', incluyendo al isospín débil, que es la más conocida.

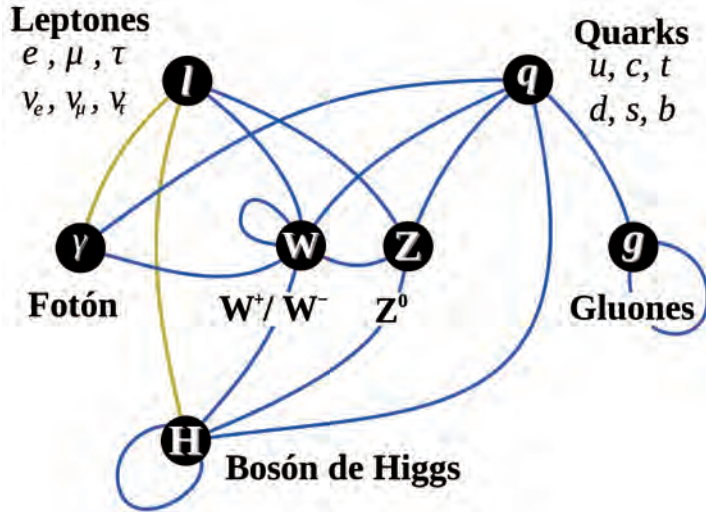
Estas 12 partículas elementales, en cada grupo, también pueden agruparse por parejas o 'familias'. Por ejemplo: cada quark tipo up con su correspondiente quark tipo down, y cada leptón tipo down con su neutrino correspondiente. Las diferencias entre los dos miembros de cada una de estas 6 familias son la masa, la carga y el sabor.

Un problema inicial de este Modelo Estándar es que las masas de las partículas no surgen de manera natural de las ecuaciones fundamentales y debía ser introducida 'ad hoc'. Esta deficiencia fue resuelta mediante la inclusión en la teoría de un hipotético campo de Higgs.

## ***2. Partículas mediadoras de las interacciones***

Todas las partículas elementales están sometidas a interacciones: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil. En el Modelo Estándar estas interacciones suceden mediante el intercambio de otras partículas que son denominadas 'mediadoras'. Al igual que las partículas elementales de la materia,

las partículas mediadoras también poseen espín, pero todas estas tienen espín entero, por lo que son denominadas bosones (en contraste con los fermiones que están definidos por un espín fraccionario). Los bosones son los siguientes:



Interacciones entre partículas elementales

**El fotón:** mediador de la interacción electromagnética. No posee masa. Su interacción con la materia está descrita mediante la electrodinámica cuántica.

**Los bosones de gauge  $W^+$ ,  $W^-$  y  $Z^0$ :** median las interacciones nucleares débiles entre quarks y leptones. Son masivos, con el  $Z^0$  más masivo que  $W^+$  y  $W^-$ . Además,  $W^+$  y  $W^-$  llevan una carga eléctrica de  $+1$  y  $-1$  y participan en las interacciones electromagnéticas, mientras que  $Z^0$  es eléctricamente neutro. Estos tres bosones gauge junto con los fotones median colectivamente las interacciones electrodébiles.

**Ocho gluones:** median las interacciones nucleares fuertes entre las partículas cargadas con color (los quarks). Los gluones no tienen masa. La multiplicidad de los gluones se etiqueta por las combinaciones del color y de una carga de anti-color. Como el gluon tiene una carga efectiva de color, pueden interactuar entre sí mismos. Los gluones y sus interacciones se describen mediante la teoría de la cromodinámica cuántica.

Como vimos más arriba, cada interacción va asociada con una ley de conservación de carga y cada ley de conservación de la física siempre lleva asociada una



invariancia de la ley respecto de transformaciones de simetría gauge por grupos de Lie. Las interacciones electromagnética, débil y fuerte, van asociados a los grupos de Lie  $U(1)$ ,  $SU(2)$  y  $SU(3)$ , respectivamente.

Las propiedades de las tres interacciones quedan resumidas en la siguiente tabla:

Interacción	Grupo gauge	Bosón mediador	Símbolo	Fuerza relativa
Electromagnética	$U(1)$	fotón	$\gamma$	$a_{em} = 1/137$
Débil	$SU(2)$	bosones intermedios	$W^\pm, Z^0$	$a_{weak} = 1,02 \cdot 10^{-5}$
Fuerte	$SU(3)$	gluones (8 tipos)	$g$	$a_s(M_Z) = 0,121$

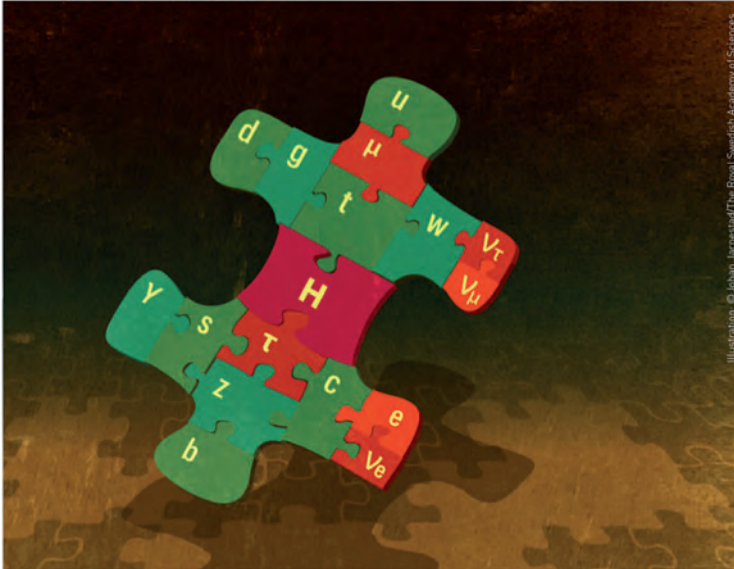
## ■ El bosón de Higgs

### *Predicción*

En la década de 1960, cuando el Modelo Estándar descrito más arriba aún se estaba desarrollando, se observaba una contradicción aparente entre dos fenómenos. Por un lado, la fuerza nuclear débil entre partículas subatómicas podía explicarse mediante leyes similares a las del electromagnetismo (en su versión cuántica). Dichas leyes implican que las partículas que actúen como intermediarias de la interacción, como el fotón en el caso del electromagnetismo y las partículas  $W^\pm$  y  $Z^0$  en el caso de la fuerza débil, deben ser no masivas. Sin embargo, sobre la base de los datos experimentales, los bosones  $W^\pm$  y  $Z^0$ , que entonces solo eran una hipótesis, debían ser masivos. Entre otras cosas, de esta manera se conseguía el corto alcance de tales interacciones nucleares.

Para resolver esta contradicción aparente se ideó un proceso mediante el cual los bosones vectoriales pueden obtener masa sin romper explícitamente la invariancia de gauge. La primera propuesta de este mecanismo de ruptura espontánea de la simetría fue realizada en 1962 por Philip W. Anderson. En 1964, tres grupos de físicos publicaron de manera independiente el desarrollo de esta solución, que reconciliaba dichas leyes con la presencia de la masa. Esta solución, denominada posteriormente mecanismo de Higgs, explica la masa como el resultado de la interacción de las partículas con un campo que permea el vacío, denominado

campo de Higgs, en honor de Peter Higgs que fue en solitario uno de los proponentes de dicho mecanismo. En su versión más sencilla, este mecanismo implica que debe existir una nueva partícula asociada con las vibraciones de dicho campo: el bosón de Higgs.



El bosón de Higgs completa el puzle del Modelo Estándar, Fundación Nobel

Mediante el mecanismo de Higgs, un campo de naturaleza escalar (su correspondiente bosón tiene espín cero) permea el vacío, donde adquiere un valor no nulo, y hace posible que la simetría de las leyes de la física se ‘rompa’ de manera espontánea determinando así las propiedades de las partículas elementales. Según esta teoría, las propiedades de las partículas elementales ya no son ‘intrínsecas’ sino que dependen de la evolución y del entorno, pues en principio la simetría podría romperse de maneras diferentes, dependiendo de la densidad y de la temperatura.

Dado que este mecanismo fue propuesto de manera simultánea por tres equipos diferentes: Robert Brout y François Englert; Peter Higgs; y Gerald Guralnik, C. R. Hagen y Tom Kibble, parecería más adecuado denominar a este mecanismo ‘mecanismo de Englert–Brout–Higgs–Guralnik–Hagen–Kibble’, o mecanismo EBHGHK. De hecho los tres artículos fueron reconocidos como un único hito en la historia de la física cuando se celebró el 50 aniversario de la revista *Physical Review Letters* y sus seis autores fueron galardonados con el Premio Sakurai, el

más alto galardón en física de partículas. Sin embargo, por simplicidad sin duda, el término ‘mecanismo de Higgs’ ha sido el que ha pasado a la historia. Pero ha influido también que fue Peter Higgs quien más se focalizó en el estudio del mecanismo y en 1966 escribió un nuevo artículo en el que describía el mecanismo del decaimiento del bosón, sugiriendo así que el mecanismo podía ser puesto de manifiesto en la práctica midiendo los productos de la desintegración de esta partícula. Así pues, mientras que en el artículo de Guralnik, Hagen y Kibble, el bosón no tiene masa; el bosón debía ser masivo según Higgs.

Con la predicción de la existencia del bosón de Higgs y su capacidad para dotar de masa a las partículas, todo el Modelo Estándar de la física de partículas pasó a reposar enteramente sobre este bosón. Sin el bosón de Higgs, electrones y quarks carecerían de masa y serían similares al fotón, viajarían a la velocidad de la luz, y serían incapaces de formar átomos y moléculas, el Modelo Estándar se derrumbaría como un castillo de naipes y el mundo que conocemos no podría existir.

### ***¿Partícula de Dios?***

El bosón de Higgs también se conoce como la “partícula de Dios” o “partícula divina”. Esta denominación se atribuye habitualmente al físico estadounidense Leon Lederman quien recibió el Premio Nobel en 1988 por sus trabajos sobre los neutrinos. Entre 1979 y 1989, Lederman dirigió el Fermilab, laboratorio de física de partículas que albergó un gran acelerador de hadrones: el Tevatrón. En 1993 Lederman escribió un libro de divulgación científica que llegó a ser muy popular, su título en EE.UU. fue “The God Particle: If the Universe Is the Answer, What Is the Question?” Según explica en el propio libro, Lederman acuñó el apodo ‘God particle’ para el bosón de Higgs porque la consideró “central para la física de hoy en día, crucial para nuestra comprensión de la estructura de la materia, sin embargo muy evasiva”, pero en tono un tanto humorístico añade que otra razón fue porque “la editorial no les dejó llamarla ‘the god damn particle’ (‘la maldita partícula’) aunque ese fuese un título mucho más apropiado, dada su naturaleza ‘villana’ y el costo que estaba causando su localización.

En todo caso, la traducción al español de ‘God particle’ por ‘partícula de Dios’ nos parece muy poco afortunado, quizás fuese más apropiado ‘la partícula diosa’, pues más que dar un carácter ‘divino’ o religioso a la partícula, Lederman tan solo pretendía destacar su papel primordial en el Modelo Estándar. El propio Higgs ha

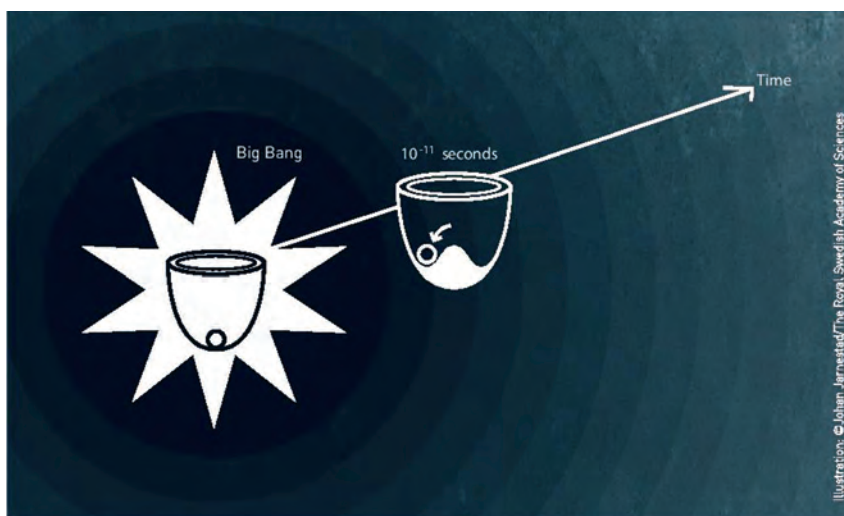
afirmado que no le agrada que a la partícula que lleva su nombre se la conozca también como la ‘partícula de Dios’. En lo sucesivo evitaremos pues esta denominación y nos referiremos a esta partícula como ‘bosón de Higgs’, o simplemente ‘el Higgs’.

## ***El campo de Higgs y la simetría del Universo***

Ya vimos cómo, según el teorema de Noether, las leyes de conservación de la física (como, por ejemplo, la conservación del momento, de la energía y de la carga) tienen su origen en la simetría de las ecuaciones que describen los sistemas físicos.

Muy probablemente nuestro Universo nació simétrico. En el momento del Big Bang, las partículas no tenían masa y todas las fuerzas estaban unificadas en una única fuerza primordial. Sin embargo, este orden primordial se perdió unos  $10^{-11}$  segundos después del Big Bang, cuando el campo de Higgs perdió su equilibrio original. ¿Qué fue lo que originó esta pérdida de simetría?

El estado energético que describe a nuestro Universo en el momento del Big Bang puede ser imaginado como una bola en el fondo de un pozo de potencial simétrico. Si la bola sufre una perturbación y se mueve de su sitio, regresa a la posición del mínimo.



Ruptura de simetría en el campo de Higgs tras el Big Bang, Fundación Nobel

Imaginemos ahora que surge una prominencia en la posición del fondo del pozo dando lugar a una configuración similar a la de un sombrero mexicano. La bola, situada en la cúspide de la prominencia, mantendrá la simetría pero se encontrará en una situación inestable, caerá entonces por cualquier punto de la ladera y desde su posición, descentrada, la simetría aunque aún existe ya no será evidente. De manera similar, el campo de Higgs, unos  $10^{-11}$  segundos después del Big Bang, rompió su simetría para alcanzar un nivel energético estable en el vacío que está desplazado respecto del nivel 'cero' de simetría.

Para que tenga lugar esta ruptura espontánea de la simetría, conocida como la transición de fase del campo de Higgs, se necesitaron cuatro partículas, pero solo una, la partícula de Higgs, ha sobrevivido. Las otras tres, denominadas  $W^+$ ,  $W^-$ , y  $Z^0$ , fueron empleadas en la mediación de la fuerza nuclear débil. De esta manera la simetría de la interacción electrodébil fue salvaguardada.

## Propiedades del bosón de Higgs

La descripción de la constitución de la materia mediante el Modelo Estándar se fundamenta en la existencia del campo de Higgs y en su bosón asociado. Por ello ya en los años 1960 se concluyó que resultaba imprescindible caracterizar al bosón de Higgs y tratar de detectarlo experimentalmente. En trabajos sucesivos al postulado de su existencia, se fueron afinando las propiedades que debía tener el bosón y se constató que muchas de sus propiedades, tal y como se describe en el Modelo Estándar, están totalmente determinadas.

Como su nombre indica, la partícula de Higgs un bosón, tiene espín 0 (lo que se denomina un bosón es-



Englert y Higgs en la Universidad de Oviedo, Fundación Príncipe de Asturias

calar). No posee carga eléctrica ni carga de color, por lo que no interacciona con el fotón ni con los gluones. Sin embargo interacciona con todas las partículas del modelo que poseen masa: los quarks, los leptones cargados y los bosones W y Z de la interacción débil. Sus constantes de acoplo, que miden cuán intensa es cada una de esas interacciones, son conocidas: su valor es mayor cuanto mayor es la masa de la partícula correspondiente. En la versión original del modelo estándar, no se incluía la masa de los neutrinos ni, por tanto, una interacción entre estos y el Higgs. Aunque esta podría explicar la masa de los neutrinos, en principio su origen puede tener una naturaleza distinta. El bosón de Higgs es además su propia antipartícula.

El Modelo Estándar no predice sin embargo la masa del Higgs, que ha de ser medida experimentalmente; tampoco el valor de algunos parámetros que dependen de esta: las constantes de acoplo del Higgs consigo mismo –que miden cuán intensamente interaccionan dos bosones de Higgs entre sí– o su vida media. En primera aproximación, la masa del Higgs podría pues tomar cualquier valor.

Con el mecanismo de Higgs, el modelo estándar de la física de partículas quedó finalmente constituido. En particular, todas las partículas masivas que lo forman interaccionan con este campo, y reciben su masa de él. Sin embargo, quedaba por probar que el mecanismo de Higgs era real y no una mera entelequia teórica. Para ello había que detectar el bosón de Higgs. Para ello, el primer requisito era tener una idea de su masa. Aunque el Modelo Estándar no la predice, la consistencia matemática impone cotas inferiores entre 85 y 130 GeV/c<sup>2</sup>, y cotas superiores entre 140 y 650 GeV/c<sup>2</sup>. Tenemos pues indicios de que el bosón de Higgs debe de ser bastante masivo (unas cientos de veces la masa del protón) y allá por los 1970-1980 no existía ningún experimento de física de partículas capaz de generar bosones tan masivos.

## ■ A la caza del bosón de Higgs

### *Búsquedas previas al LHC*

El CERN, la Organización Europea para la Investigación Nuclear, se constituyó en 1954, pocos años tras la finalización de la Segunda Guerra Mundial, con el objetivo tanto de impulsar la investigación en Europa como de estrechar las relaciones entre los países del continente. Hoy el CERN tiene 20 países miem-

bros (ver Apéndice) pero mantiene colaboraciones con un centenar de países del mundo.

Desde su creación, el CERN construyó diversos aceleradores de partículas, pero el primero que fue muy relevante en la caza del Higgs fue el Gran Colisionador de Electrones y Positrones (LEP): un anillo de 27 kilómetros en la frontera franco-suiza. El LEP fue puesto en operación en 1989 trabajando en energías próximas a 90 GeV con el fin de observar el decaimiento del bosón  $Z^0$  (tanto el bosón  $Z^0$  como los  $W^+$  y  $W^-$ , los mediadores de la interacción débil, habían sido descubiertos experimentalmente en el CERN en 1983). El  $Z^0$ , producido mediante la colisión de un electrón con un positrón, debía decaer en un Higgs que, a su vez, se desintegraría en una pareja de quarks y otra de neutrinos. Durante la primera fase del LEP, se estableció un límite inferior para la masa del bosón de Higgs de  $63,9 \text{ GeV}/c^2$  (con un nivel de confianza del 95%).

EN 1995, el LEP fue modificado para poder trabajar en torno a los 130 GeV y, a continuación, fue incrementándose su energía de trabajo hasta los 209 GeV en el año 2000, cuando el colisionador fue desmantelado para construir otro mucho más potente. Combinando todos los resultados del LEP, se estableció en el año 2003 un nuevo límite inferior para la masa del bosón de Higgs:  $114,4 \text{ GeV}/c^2$  (con un nivel de confianza del 95%).

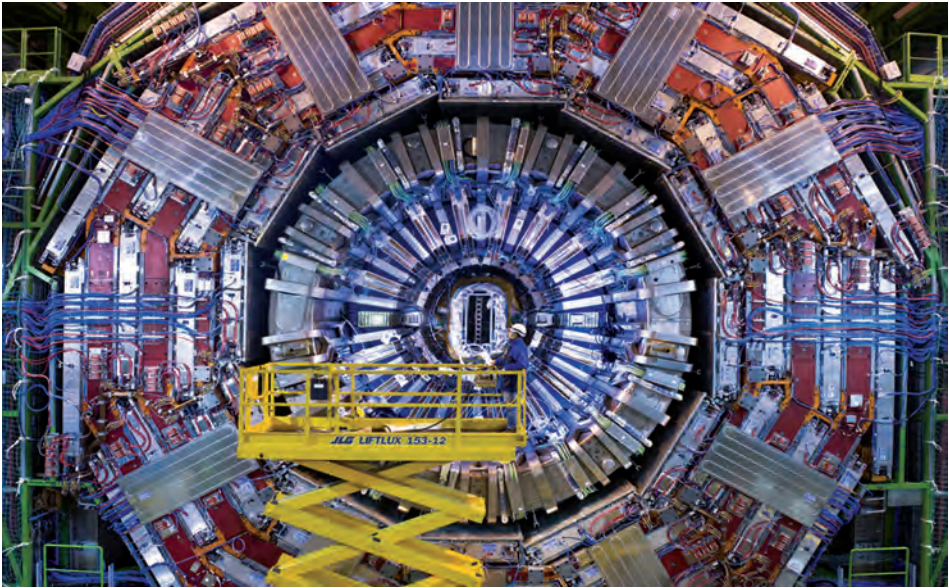
En paralelo con los experimentos del CERN, los Estados Unidos estaban trabajando primero con el Colisionador Lineal SLAC (SLC), en Stanford, y más tarde con el Tevatrón (un colisionador protón-antiprotón) en el Fermilab, estableciendo una cota superior para la masa del bosón de Higgs en  $152 \text{ GeV}/c^2$ . De esta manera, el rango permitido de masas quedó establecido en  $114\text{-}152 \text{ GeV}/c^2$ .

## ***Búsqueda con el LHC***

Durante dos congresos que tuvieron lugar en Suiza en 1984 (poco después del descubrimiento de los bosones W y Z) se concluyó que el siguiente paso importante en la investigación experimental de la física de partículas era la construcción de un colisionador que trabajase en torno al TeV. La tecnología disponible en la época reposaba sobre las colisiones entre hadrones. Por ejemplo, la colisión de protones y antiprotones había sido utilizada en el Tevatrón del Fermilab (EE.UU.). Europa decidió entonces construir el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en el túnel del



LEP en el CERN. Mientras, los EE.UU. decidieron competir construyendo una máquina más potente: el Super Colisionador Superconductor (SSC), un proyecto que tras empezar la obra civil en Texas, debió ser abandonado por sus elevados costes. Por su parte, el Tevatrón fue cerrado hace ahora un par de años.



El detector CMS del LHC durante su construcción en 2007, M. Brice, CERN

El LHC situó entonces a Europa en la vanguardia de la investigación de partículas. Además, al proyecto acabarían sumándose tanto EE.UU. como Japón, Canadá, Rusia e India, que realizaron contribuciones muy significativas a la construcción del acelerador.

El LHC es sin duda una de las máquinas más complejas construidas por el hombre. Dos grupos de investigación, cada uno de ellos constituido por más de 3.000 científicos e ingenieros, han construido y se encuentran explotando ahora dos detectores colosales de partículas, ATLAS y CMS, que se encuentran a 100 metros bajo tierra. El LHC, que se construyó aprovechando el túnel de 27 kilómetros del LEP, es capaz de propiciar 40 millones de colisiones de partículas por segundo y de observar su resultado. Los protones se inyectan cada diez horas en dos haces ultra-finos que viajan en sentidos opuestos a una velocidad que es el 99,99999% de la velocidad de la luz. Actualmente la colisión tiene lugar en un rango de energías en torno a 8 TeV, lo que permite detectar nuevas partículas con masa por debajo del TeV.

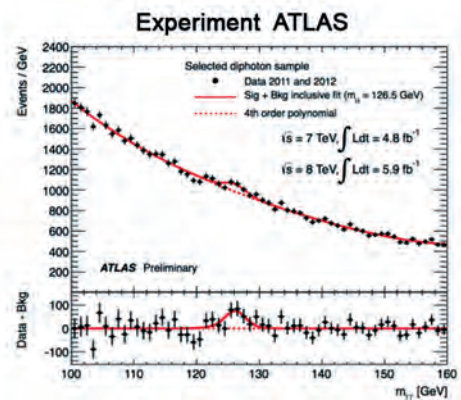
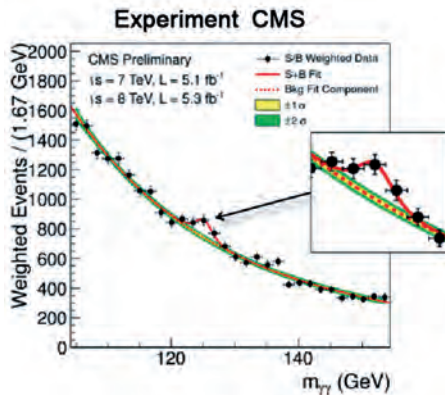


La recopilación de datos y análisis en la busca de Higgs se intensificaron desde el 30 de marzo de 2010, cuando el LHC comenzó a operar en estos rangos de energía. Los primeros resultados de los experimentos ATLAS y CMS del LHC, entre 2010 y mediados de 2011 excluyeron un bosón de Higgs de modelo estándar en el rango de masa  $155\text{--}190\text{ GeV}/c^2$  y  $149\text{--}206\text{ GeV}/c^2$  (con un nivel de confianza del 95%).

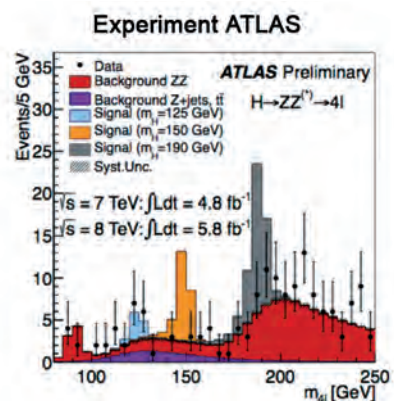
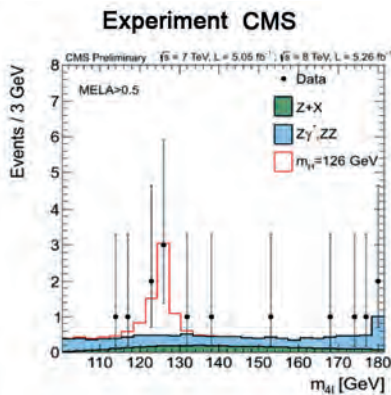
## ***El descubrimiento***

A partir de diciembre de 2011 la búsqueda se había estrechado aproximadamente a la región de  $115\text{--}130\text{ GeV}/c^2$  con un enfoque específico alrededor de  $125\text{ GeV}/c^2$ , donde tanto el experimento del ATLAS y el CMS, independientemente, encontraron un exceso de eventos, aunque no completamente significativo desde el punto de vista estadístico. En efecto, estos datos, eran insuficientes para mostrar si tales excesos eran debidos a fluctuaciones de fondo (es decir, casualidad aleatoria u otras causas), y su significado estadístico no era lo suficientemente grande como para sacar conclusiones, ni para contar como una observación formal, pero el hecho de que dos experimentos independientes mostrasen excesos alrededor de la misma masa condujo a la comunidad de la física de partículas a un razonable optimismo.

Finalmente, el 4 de julio de 2012, en el auditorio principal del CERN, completamente abarrotado por los propios trabajadores del instituto, medios de comunicación y público general, los portavoces de los experimentos ATLAS y CMS anunciaron el descubrimiento independiente, en ambos detectores, de una partícula de masa en el rango  $125\text{--}126\text{ GeV}/c^2$ . Más concretamente, el CMS anunció el descubrimiento de un bosón con masa  $125,3 \pm 0,6\text{ GeV}/c^2$  con una relación señal a ruido de 4,9 sigma (desviación cuadrática media de las fluctuaciones de ruido), mientras que el ATLAS anunció su detección de un bosón con masa  $126,5\text{ GeV}/c^2$  con una relación señal a ruido de 5,27 sigma. En ambos experimentos se habían detectado dos canales de desintegración: un canal mediante el que el Higgs se desintegra en dos fotones y otro de desintegración en 4 leptones (ver figuras adjuntas). En ambos casos, la nueva partícula tenía propiedades compatibles con las predichas para el bosón de Higgs. Entre la audiencia, como no podía ser de otra manera, se encontraban los Doctores Englert y Higgs.



Detección de la desintegración del Higgs en dos fotones, CERN



Detección de la desintegración del Higgs en cuatro leptones, CERN

## ■ Premio Príncipe de Asturias y Premio Nobel de Física 2013

Reunido en Oviedo el 29 de mayo de 2013, el Jurado del Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2013, en el que participaba nuestro compañero académico el Doctor D. Juan Luis Arsuaga Ferreras, acordó por unanimidad conceder el Premio de Investigación Científica y Técnica 2013 de forma conjunta a los físicos Peter Higgs y François Englert, y a la institución internacional CERN, el Laboratorio Europeo de Física de Partículas, por la predicción teórica y detección experimental del Bosón de Higgs.

El Jurado declaraba que “los trabajos pioneros de Higgs, y de Englert y Brout (este último fallecido en el año 2011), establecieron en el año 1964 la base teórica de la existencia del llamado bosón de Higgs. Esta partícula completa el Mo-

delo Estándar, que describe los componentes fundamentales de la Naturaleza, y es responsable de que ciertas partículas elementales posean masa. Durante casi



S.A.R. el Príncipe de Asturias entrega la insignia a Peter W. Higgs, Fundación Príncipe de Asturias

medio siglo, los esfuerzos para hallar el bosón de Higgs resultaron infructuosos debido a las enormes dificultades experimentales que conlleva su detección precisa e inequívoca. En el año 2012, el bosón de Higgs fue finalmente identificado por los detectores ATLAS y CMS del acelerador de partículas LHC del CERN, un hito histórico para toda la comunidad científica”.

Finalmente, se destacaba que “el descubrimiento del bosón de Higgs constituye un ejemplo emblemático de cómo Europa ha liderado un esfuerzo colectivo para resolver uno de los enigmas más profundos de la física”.

En nuestra opinión, este Premio Príncipe de Asturias fue muy acertado no solo por hacer justicia a los dos eminentes físicos vivos que habían predicho la existencia del bosón, si no por destacar la inmensa labor realizada en el CERN, una institución ejemplar en la que la colaboración científica a nivel internacional ha permitido abordar objetivos de suma ambición y trascendencia (ver Apéndice).

El día 8 de octubre de 2013 la Academia Nobel anunció la concesión del Premio Nobel de Física 2013 a los Drs. Peter W. Higgs y François Englert por “el descubrimiento teórico de un mecanismo que contribuye a nuestra comprensión del origen de la masa de las partículas subatómicas, y que ha sido confirmado recientemente mediante el descubrimiento de la partícula fundamental predicha, por los experimentos ATLAS y CMS del Gran Colisionador de Hadrones del CERN”. El Premio fue entregado en Estocolmo el día 10 de diciembre de 2013 por el Rey Carlos Gustavo XVI de Suecia. A los galardonados se les dirigieron las siguientes palabras “Con vuestro colega el profesor Robert Brout tristemente fallecido, ustedes encontraron la clave para comprender la masa de las partículas elementales...”.



Carlos Gustavo XVI entrega la medalla Nobel a François Englert. (C. Bresciani)

En nuestra humilde opinión el Nobel que, según su fundador, iba dirigido "...a la persona que haya hecho el descubrimiento más importante o invención en el campo de la física" debería considerar los hallazgos experimentales al mismo nivel que los teóricos. Al reconocer a los profesores Higgs y Englert, hace justicia a una de las aportaciones teóricas más importantes de la física de partículas de las

últimas décadas. Pero sería deseable que el Nobel también reconociese el inmenso valor que tuvo, y está teniendo, la experimentación en el estudio del mecanismo de Higgs. De hecho, es difícil imaginar que Higgs y Englert hubiesen recibido el Nobel si no hubiese mediado la detección realizada en el CERN unos meses antes. Si una institución no puede ser la beneficiaria de un Premio Nobel, quizás los responsables del CERN o de los



Carlos Gustavo XVI entrega la medalla Nobel a Peter W. Higgs. (C. Bresciani)

detectores ATLAS y CMS podrían en un futuro recibir el galardón en su nombre, equiparando así la labor de los físicos experimentales a la de los teóricos.

## ■ Conclusiones y perspectivas

El estudio de las propiedades y características de la nueva partícula necesita aún más tiempo para poder confirmar completamente que realmente se trata del

bosón de Higgs del Modelo Estándar o uno de los bosones de Higgs que predicen las teorías supersimétricas. Se espera que los datos recopilados en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN puedan confirmar totalmente el descubrimiento y afinar las propiedades del nuevo bosón en 2015, cuando se ponga en marcha el LHC con una mayor luminosidad.

No obstante, aunque crucial para redondear el Modelo Estándar, el bosón de Higgs no resuelve, por sí solo, todos los enigmas que aún esconde esta teoría. En muchos aspectos, la teoría incluye elementos que parecen ad-hoc, es decir, que no surgen de la teoría de manera autoconsistente. Por ejemplo, la masa del neutrino (medida experimentalmente) impone realizar correcciones y extensiones en el Modelo.

En general los valores de las masas de las partículas elementales y de las constantes de acoplamiento de las diferentes interacciones parecen bastante arbitrarios y tampoco se deducen de manera natural de la teoría. Esto requiere 19 constantes numéricas que parecen no tener relación entre ellas (7 u 8 más cuando se incluye en la teoría la masa del neutrino). Hemos visto que las partículas elementales se agrupan en tres familias o generaciones. En los leptones cargados, estas generaciones son electrón-muón-tau, por orden creciente de masa. En los neutrinos: el electrónico, el muónico y el de tipo tau. En los quarks de tipo up: el up, el charm y el top; y en los quarks de tipo down: el down, el strange y el bottom. El origen de esta estructura jerárquica es todo un misterio, como lo es el hecho de que el número de generaciones esté limitado a tres.

El Modelo Estándar no incluye la gravitación. El gravitón, la partícula mediadora de la interacción gravitatoria, no encuentra su lugar entre las partículas del Modelo y la actual teoría canónica de la gravitación, la relatividad general de Einstein, no tiene descripción dentro de la teoría cuántica de campos.

La materia oscura que aparece en el modelo estándar de cosmología, y cuya importancia en el universo está constatada observacionalmente, tampoco encuentra acomodo en el Modelo Estándar de la física de partículas y parece requerir algún tipo de partícula elemental desconocida.

Se podría pensar que la energía oscura, una componente sumamente importante del universo según se ha constatado experimentalmente, podría tener su origen en la energía del vacío predicha por el Modelo Estándar. Sin embargo, la

energía predicha para el vacío es 120 órdenes de magnitud mayor que la energía oscura, por lo que se ha llegado a mencionar que esta es ‘la peor predicción de la historia de la física’.

Finalmente, en la comparación del Modelo Estándar con el mundo real resulta sorprendente la predominancia de la materia sobre la antimateria en el universo. Se trata de una asimetría que no tiene explicación fácil si asumimos que el universo nació neutro y que las cargas de todos los tipos deben de conservarse en cada proceso.

Como vemos, aún quedan muchos problemas que resolver y, por ello, surgió la idea de una teoría del todo como una super-teoría que fuese capaz de incluir todos los aspectos mencionados más arriba. Como ya he señalado en otras ocasiones, este término “teoría del todo” me resulta pretencioso y prefiero referirme con el de “nueva física” a los intentos que buscan unificar la gravitación con las otras tres interacciones (electromagnética, débil y fuerte).

No me cabe duda de que las pruebas experimentales de esta nueva física requerirán de medidas astronómicas, pues solo así pueden encontrarse los enormes campos gravitatorios (cerca de los agujeros negros) capaces de poner de manifiesto algunas de las predicciones más sutiles. Otras medidas requieren relojes de altísima precisión, y sin perturbaciones apreciables, en los que pueda medirse el comportamiento predicho por la relatividad general. Los niveles de energía por partícula que pueden observarse en el Universo primordial están muchos órdenes de magnitud por encima de los alcanzados actualmente en el CERN. Así pues, junto con las medidas en grandes aceleradores de partículas, la astronomía está llamada a jugar un papel fundamental en el desarrollo de la nueva física.

## ■ Biografías de los premiados

### ***Peter W. Higgs***

Peter W. Higgs (Newcastle upon Tyne, Reino Unido, 20 de mayo de 1929) estudió física en el King’s College de la Universidad de Londres, donde se doctoró en 1954. Ese año se trasladó a la Universidad de Edimburgo, donde inició su labor docente e investigadora y, salvo un paréntesis de cuatro años en Londres, desa-





Peter W. Higgs. (G.M. Greuel)

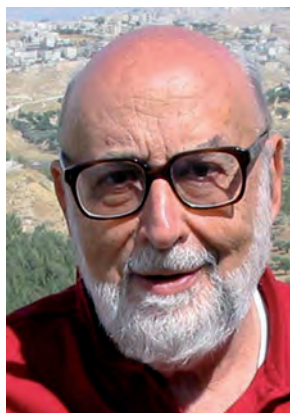
rolló toda su carrera, alcanzando la cátedra de Física Teórica en 1980. Desde 1996 es catedrático emérito de la Universidad de Edimburgo.

“Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields”, publicado en septiembre de 1964 en *Physics Letters*, y “Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons”, un mes después en *Physical Review Letters*, son los artículos en los que Higgs expuso su teoría sobre la existencia del bosón escalar.

Miembro de la Royal Society de Edimburgo, de la Royal Society de Londres y honorífico de la Royal Scottish Society of Arts y de la Saltire Society, Peter W. Higgs ha recibido grados honorarios de las universidades de Bristol, Edimburgo, Glasgow, Swansea, Cambridge, Heriot-Watt, del King’s College de Londres y del University College de Londres. Higgs ha recibido numerosos reconocimientos por sus aportaciones a la física, entre los que destacan el High Energy and Particle Physics Prize, que le concedió junto a Brout y Englert la Sociedad Europea de Física en 1997; el Wolf Prize de Física, compartido con Brout y Englert (Israel, 2004); el Sakurai Prize de la Sociedad Física Americana, compartido con Brout, Englert, Guralnik, Hagen y Kibble (2010); el Premio Nonino (Italia, 2013) y la Medalla Edimburgo del Festival Internacional de Ciencia de la capital escocesa, compartido con el CERN (2013).

## ***François Englert***

François Englert (Bélgica, 6 de noviembre de 1932) se licenció en Ciencias Físicas en la Universidad Libre de Bruselas en 1958 y se doctoró al año siguiente. Investigador asociado (1959-1960) y profesor asistente (1960-1961) en la Universidad de Cornell (EE.UU.), en 1961 empezó a enseñar en la Universidad Libre de Bruselas, donde también dirigió con Robert Brout el Grupo de Física Teórica desde 1980 y donde, desde 1998, es catedrático emérito.



François Englert. (Pnicolet)

En agosto de 1964 publicó con Robert Brout el artículo “Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons”, en el que teorizaban el mecanismo de ruptura de simetría que implicaba la presencia de la partícula fundamental o bosón escalar.

Doctor honoris causa por las universidades de Mons-Hainaut (Bélgica) y la VUB, entre otros reconocimientos académicos, Englert ha recibido, además de los galardones compartidos ya mencionados, el Premio Wetrems de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Real Academia de Bélgica, el First Award of the Gravity Research Foundation en 1978 (con Brout y Gunzig) y el Premio Francqui de Ciencias Exactas (Bélgica, 1982).

## ■ Apéndice 1. La organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN)

La Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) –conserva las siglas en francés del Centro Europeo para la Investigación Nuclear que le precedió– es una organización internacional e intergubernamental, con sede en Ginebra (Suiza) y constituida por veinte Estados miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Italia, Noruega, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza. Además, otros países participan en sus trabajos y altas instituciones, como la Comisión Europea y la UNESCO, poseen el estatus de observadores. Inaugurado en 1954, en la actualidad, emplea a unas 2.500 personas, científicos y técnicos de laboratorio, y en sus proyectos participan alrededor de 8.000 científicos de 85 nacionalidades procedentes de 580 universidades.



Logotipo del CERN

El 30 de marzo de 2010 científicos del CERN lograron el que entonces se consideró el mayor experimento científico del mundo: la colisión, por primera vez, de haces de protones previamente acelerados hasta obtener una energía de 7 teraelectronvoltios (TeV), en el interior del LHC, recreando condiciones similares a las que había cuando se originó el Big Bang. La creación de la primera partícula



de antimateria en el LHC supuso la confirmación de teorías físicas con las que se trabaja actualmente, como la Teoría de la Relatividad de Einstein y la comprensión de la formación del Universo. Estos hallazgos han permitido demostrar, en 2012, tras medio siglo de conjeturas, la existencia del denominado bosón de Higgs o “partícula de Dios”, además de completar el Modelo Estándar de la física de partículas –la tabla periódica del mundo subatómico y sus reglas, que explican el funcionamiento del universo–.

El CERN obtuvo su primer éxito en 1984 cuando dos de sus científicos obtuvieron el Premio Nobel de Física por el descubrimiento de los bosones W y Z, partículas de la interacción nuclear débil, conocidos como bosones intermedios. También en su seno nació, en 1990, el protocolo worldwide web (www), del físico británico Tim Berners-Lee, Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2002, con el fin de que sus científicos accedieran a los datos, independientemente de su ubicación geográfica. La producción de isótopos, para la mejora de imágenes médicas y terapias contra el cáncer, es otra de las actividades del CERN, así como el desarrollo de métodos para la eliminación de residuos nucleares, para el ahorro energético mediante el vacío y para su almacenamiento y transporte mediante la superconductividad.

## ■ Apéndice 2. Los premiados con el Nobel de Física a lo largo de la historia

Desde 1901 se han realizado 107 ediciones del Premio Nobel de Física, pues no hubo premios en 1916, 1931, 1934, 1940, 1941 y 1942. Durante la Segunda Guerra Mundial se concedieron pocos premios y, además, según los estatutos de la Fundación Nobel, cuando no haya ningún trabajo de suficiente importancia entre los trabajos bajo consideración, el premio se reserva para el año siguiente. Durante estos años se ha premiado a un total de 195 científicos. En realidad se han dado 196 galardones de Física, pero John Bardeen lo ganó dos veces. El Premio fue concedido a un único laureado en 47 ocasiones, a dos laureados en 31 ocasiones, y a tres en 29 ocasiones.

Entre los 195 premiados solo se encuentran dos mujeres: Marie Curie, que recibió el premio en 1903, y que también recibió el de química en 1911, y Maria Goeppert-Mayer, quien recibió el Nobel de Física en 1963. El Nobel más joven en todas las disciplinas fue Lawrence Bragg, que tenía 25 años edad cuando re-

cibió el galardón de Física, en 1915, junto con su padre. El de mayor edad, fue Raymond Davis Jr., que tenía 88 años cuando recibió el premio en 2002. La edad media de los Nobel de Física desde 1901 es de 55 años.

No hay ningún premio póstumo de Física. Desde 1974, los estatutos de la Fundación Nobel estipulan que no se puede otorgar un premio a título póstumo, a menos que la muerte haya ocurrido tras el anuncio del premio. Esta es la razón por la que Robert Brout, fallecido en 2011, no haya podido ser premiado, aunque fue co-autor con F. Englert de uno de los artículos que predijeron la existencia del bosón de Higgs.

## ■ Bibliografía

Bachiller, R. (2012). La astronomía en la encrucijada de la filosofía, la ciencia y la tecnología, Discurso de ingreso a la Real Academia de Doctores de España.

Baggott, J. (2012). Higgs. The invention and discovery of the 'God particle, Oxford University Press.

Chadwick, J. (1932). Possible Existence of a Neutron', Nature 129, 312.

Englert, F. y Brout, R. (1964). Broken Symmetry and the Mass of the Gauge Vector Mesons, Phys. Rev. Lett. 13, 321.

Gell-Mann, M. (1964). A Schematic Model Of Baryons And Mesons, Phys. Lett. 8, 214.

Guralnik, G.S., Hagen, C.R., y Kibble, T.W.B. ( ). Global Conservation Laws and Massless Particles, Phys. Rev. Lett. 13, 585.

Higgs, R.W. (1964). Broken symmetries, massless particles and gauge fields, Phys. Lett. 12, 132.

Higgs, R.W. (1964). Broken Symmetries and the Mass of the Gauge Bosons, Phys. Rev. Lett. 13, 508.

Lederman, L. (junto con Teresi D) (1996). La partícula divina: si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta? Editorial Crítica (Grijalbo Mondadori).

Lleó, A. (2013). Los grandes enigmas del Universo. UPM Press.

Randall, L. (2012). El descubrimiento del Higgs. Una partícula muy especial".  
Ed. Acantilado.

Rodrigo, T. y Casas, A. (2012). El bosón de Higgs. CSIC.

[www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org)

[www.atlas.ch](http://www.atlas.ch)

[www.fpa.es](http://www.fpa.es)

[cms.web.cern.ch](http://cms.web.cern.ch)

[cern.ch/about/experiments/](http://cern.ch/about/experiments/)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_Model](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model)

# Premio Nobel de Química 2013

## DESARROLLO DE MODELOS MULTIESCALA PARA SISTEMAS QUÍMICOS COMPLEJOS

Antonio Luis Doadrio Villarejo



Martin Karplus



Michael Levitt



Arieh Warshel

El 9 de octubre de 2013, la Real Academia Sueca de las Ciencias decidió conceder el Premio Nobel de Química 2013 a tres investigadores: Martin Karplus, Michael Levitt y Arieh Warshel, por el desarrollo de modelos multiescala de sistemas químicos complejos.

Estos tres científicos, químicos teóricos, sentaron las bases de los potentes programas informáticos que se utilizan para comprender y predecir reacciones químicas. Ellos desarrollaron en los años setenta, la química computacional avanzada que permite simular en ordenadores reacciones químicas complejas, incluso de sistemas biológicos.

Karplus, Levitt y Warshel, señalan que: “Los modelos de ordenador que imitan la vida real son cruciales para la mayoría de los avances de la química actual”.

Estos modelos avanzados que ellos empezaron a crear hace 40 años son herramientas predictivas, que permiten acercarse a la realidad y pueden establecer si

una reacción va a ocurrir o no, diseñar nuevos materiales o fármacos, conocer cómo responden determinadas proteínas a contaminantes o a fármacos, determinar las interacciones fármaco-receptor e innumerables aplicaciones más. Actualmente, estos modelos tienen tal poder predictivo que se pueden hacer experimentos de química en ordenador en lugar de en el laboratorio convencional, lo que ahorra tiempo y dinero.

El avance ha sido tan espectacular, que el químico ha pasado de representar los modelos de las moléculas construyéndolos manualmente con bolas (simulaban átomos) y tubos (enlaces) de plástico o madera a la química computacional en 3D. Y todo esto en los últimos 30 años.

Los tres científicos premiados tienen nacionalidad estadounidense, pero ninguno de ellos nació en su país de adopción: Karplus es austriaco; el británico Levitt, nació en Sudáfrica y Warshel, en Israel. El primero, es de la Universidad de Estrasburgo (Francia) y de la de Harvard; Levitt, de la Universidad de Stanford y Warshel, de la Universidad de California del Sur, en Los Ángeles.

### ***Martin Karplus***

Nacido en Viena en 1930 pero naturalizado estadounidense en 1945, se graduó en 1950 en la Universidad de Harvard, y obtuvo el doctorado tres años después en el Instituto Tecnológico de California. Con posterioridad, trabajó en las universidades de Illinois y Columbia para regresar en 1966 a la Universidad de Harvard, donde es actualmente profesor emérito de Química. Entre los premios que ha recibido se cuentan el Irving Langmuir en Física y Química de la Sociedad de Física Estadounidense (1987) y el ACS en Química Teórica (1993). Su labor científica incluye también el desarrollo de la ecuación de Karplus, muy relevante para los análisis conformacionales de moléculas orgánicas, y la aplicación de cálculos dinámicos clásicos a las reacciones químicas en fase gaseosa.

### ***Michael Levitt***

Nació en Pretoria (Sudáfrica) en 1947, aunque muy pronto se trasladó al Reino Unido. En 1968 se graduó en Física en el King's College de Londres, y se doctoró en Biofísica por la Universidad de Cambridge. Durante su actividad profesional ha pasado por instituciones como el Instituto Weizmann de Israel, en el que fue

profesor durante diferentes períodos entre 1970 a 1990. Levitt, que posee las nacionalidades británica, estadounidense e israelí, también trabajó en la Universidad de Cambridge antes de llegar en 1987 a la de Stanford, donde en la actualidad ejerce como profesor en la Facultad de Medicina. Fue pionero en Biología Computacional, estableciendo el marco teórico y conceptual en el que se basa esta especialidad, y ha desarrollado además modelos de media escala de grandes complejos macromoleculares.

## ***Arieh Warshel***

Nacido en Israel en 1940, trabaja actualmente como profesor en la Universidad del Sur de California. Se graduó en la Universidad de Haifa y obtuvo el grado de doctor en el Instituto Weizmann de las Ciencias. Continuó con su trabajo postdoctoral en Harvard. En 1972 regresó al Instituto Weizmann, donde permaneció cuatro años más, para unirse luego al departamento de Química de la Universidad del Sur de California.

Entre los principales logros de Warshel, que realizó la primera simulación dinámica molecular de un proceso biológico, figuran la elaboración de los modelos electroestáticos microscópicos para proteínas. Warshel, que posee pasaporte israelí y estadounidense, ha sido distinguido con el premio anual de la Sociedad Internacional de Biología Cuántica y Farmacología (1993) y con la medalla Tolman (2003), entre otros galardones.

## **■ Introducción**

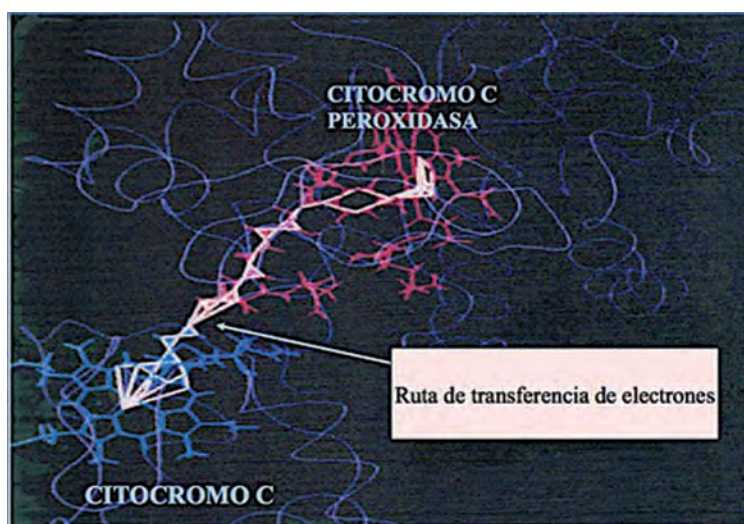
La química y la bioquímica han experimentado un rápido avance en los últimos 50 años, y los progresos conseguidos pueden aplicarse a todos los aspectos de estos dos campos, aunque, el correspondiente a la bioquímica es sin duda el más destacado. En la primera parte de esos 50 años, el tema donde se hicieron los mayores esfuerzos y donde se consiguieron los mayores descubrimientos fue en la determinación de la estructura de las proteínas.

Los métodos estándar para analizar la estructura de las proteínas han sido y son la cristalografía de rayos X o el análisis de parejas espín-espín obtenidos por la técnica de espectroscopia de RMN. Pero, estas técnicas no se podrían haber de-

sarrollado sin los potentes programas informáticos adecuados a ellas. Con el software se puede calcular la energía de la estructura a considerar, en base a cálculos mecano cuánticos de los potenciales electrostáticos, que describen la interacción entre los átomos en el sistema proteico. Y esto facilita las cosas, porque no hay bastante información experimental para determinar la estructura de ese sistema que se quiere estudiar. Sin embargo, la potencia de cálculo informático de los modelos teóricos sí que proporcionan la información necesaria para comprender estos procesos y es por ello, que han llegado a ser herramientas esenciales para el bioquímico y también para el químico experimental.

Durante las reacciones químicas, que se producen en fracciones de milisegundo, los electrones pueden seguir una ruta de transferencia que les conduzca de un átomo a otro. Esto ocurre necesariamente en las tres cadenas redox fundamentales para la vida: la fotosíntesis, la cadena respiratoria mitocondrial y el ciclo del nitrógeno del *Rhizobium*. Su seguimiento, es vital para entender el mecanismo de la reacción. De nuevo, este hecho resulta un reto difícil de abordar para la química clásica, porque es virtualmente imposible cartografiar experimentalmente cada pequeño salto en un proceso químico.

Sin embargo, con la ayuda de los modelos teóricos de los premiados con el Nobel de Química, los científicos han conseguido que se desvelaran esos procesos químicos, como se muestra en la figura 1, donde podemos apreciar la ruta de transferencia del electrón que se cede del citocromo c a la citocromo c peroxidasa.



**Figura 1.** Ruta de transferencia de electrones entre el citocromo c y la citocromo c peroxidasa.

Los trabajos de Karplus, Levitt y Warshel son pues fundamentales, ya que lograron que la física clásica de Newton funcionase junto con la moderna mecánica cuántica. Y es así, porque sus modelos combinan las teorías modernas junto con la clásica, para simplificar los cálculos informáticos.

El primer paso en esa dirección lo dio Karplus, en la Universidad de Harvard, al que, en 1970, se le unió Warshel, que había trabajado con Levitt en Israel, utilizando un potente ordenador para desarrollar un modelo que basado en la física clásica podía construir todo tipo de moléculas, incluso moléculas biológicas grandes, utilizando cálculos mecano cuánticos. Allí, en Harvard, desarrollaron ese nuevo tipo de programa y publicaron, en 1972, sus resultados.

Por primera vez, habían logrado una cooperación química relevante entre la física clásica y la mecánica cuántica. Dos años después, Warshel se volvió a reunir con Levitt con el objeto de desarrollar otro programa que pudiera utilizarse para el estudio de enzimas, las proteínas que gobiernan y simplifican las reacciones químicas en los organismos vivos. Lo lograron en 1976, con la publicación del primer modelo computacional de una reacción enzimática.

Por otro lado, hoy en día el enfoque de la investigación química está más dirigido a la función que a la estructura.

Los químicos de ahora se preguntan: ¿cómo ocurre esto? En vez de: ¿qué parece esto? Las preguntas sobre la función son en general difíciles de responder utilizando técnicas experimentales.

En este desarrollo, el marcaje con isótopos y la espectroscopia de femtosegundos, pueden dar pistas, pero raramente producen evidencias concluyentes para un mecanismo dado, en sistemas con la complejidad que caracteriza muchos procesos químicos catalíticos y casi todos los procesos bioquímicos. Esto hace de nuevo, que los modelos teóricos sean una potente herramienta como complemento a las técnicas experimentales para el estudio de estos sistemas.

Los trabajos premiados con el Nobel de Química de este año se enfocan, pues, en el desarrollo de métodos que usan la teoría clásica y la mecánica cuántica, los cuales se utilizan para modelar sistemas, grandes reacciones químicas y complejos.



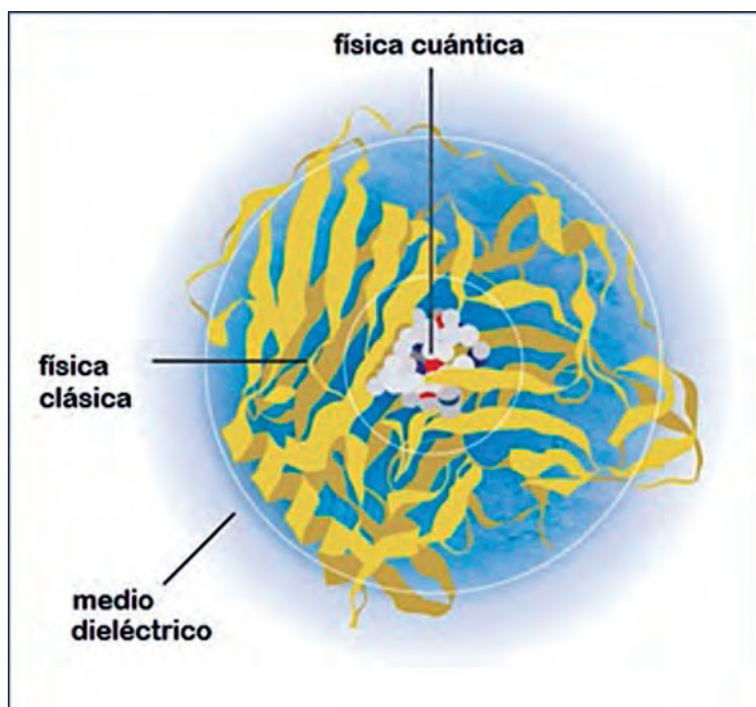
Como es conocido, los procesos químicos se caracterizan porque tienden a una configuración con la menor energía (libre) posible, que conecta el producto con los sustratos (reactantes) en un estado de transición. Normalmente este estado no es experimentalmente determinable por su complejidad, pero existen métodos teóricos aproximados para investigarlo. De nuevo, vemos que la teoría es un complemento necesario para la experimentación y que van cogidas de la mano.

En el modelo de la mecánica cuántica, los electrones y el núcleo atómico son las partes de interés para que un químico construya un modelo atómico o molecular. Sin embargo, en el modelo clásico (Bohr) lo son solo los átomos.

Por ello, los modelos cuánticos contienen más grados de libertad y también por ello es por lo que son más complejos que los de la química clásica y por tanto, son más precisos. La contrapartida es que requieren una mayor potencia de cálculo, lo que ya es posible en los modernos ordenadores.

Sin embargo, no era así con los ordenadores disponibles en el tiempo en que los galardonados empezaron a trabajar en estos modelos; de ahí su enorme mérito al concebir métodos para desarrollar modelos que describían parte de un sistema, utilizando la química cuántica y la clásica (mas fácil de simular en un ordenador), en donde se conectan la parte central de un sistema químico y la circundante. La primera parte se modela utilizando métodos de la mecánica cuántica y la segunda con la clásica.

La clave de su modelización fue mostrar cómo las dos regiones en el sistema modelado pueden disponerse para interaccionar de una forma físicamente significativa. Además, el sistema molecular completo puede ser embebido en un medio dieléctrico. La representación de un sistema típico se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Multi cobre-oxidasa embebida en agua (Nobel Lecture, 2013).

Pero los modelos teóricos tienen que ser contrastados con los datos experimentales. En el caso de las biomoléculas, para verificar la realidad de sus estructuras simuladas, se recurre a la difracción de neutrones y a la de rayos X. Cuando se comparan los resultados de la difracción de neutrones con las simulaciones por ordenador en promedio, las distancias mencionadas deben coincidir.

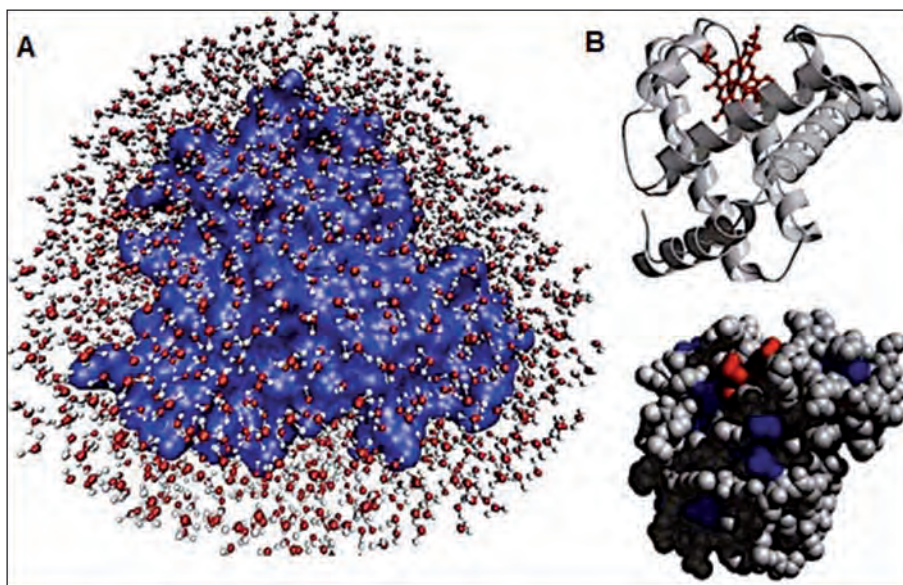
Para obtener resultados más fiables y completos, hay que recurrir a la simulación de la dinámica molecular, donde se permite que átomos y moléculas interactúen por un período, permitiendo una visualización del movimiento de las partículas. Posteriormente, se compara el comportamiento de la biomolécula simulada con las propiedades de la misma observadas en el laboratorio.

Además, hay que tener en cuenta el comportamiento de las moléculas en un medio acuoso, ya que en muchos casos, es diferente el comportamiento de la molécula en una simulación en vacío que con moléculas de agua en el medio (el agua es un dipolo). Por ejemplo, la mayoría de las proteínas contienen al menos una hélice alfa (zona donde los aminoácidos componentes se enrollan y crean

una especie de muelle), que por elevación de la temperatura se desenrolla. Pues bien, en los primeros intentos de simulación de Levitt y Daggetde una hélice alfa sencilla en el vacío a temperaturas elevadas, la hélice alfa permanecía intacta. Solo después de añadir una caja de moléculas de agua en la simulación, lograron imitar el comportamiento de una hélice alfa real.

El modelo “hidratado” permite explicar mejor la dependencia con la temperatura en todos los casos para entender la dinámica molecular de las proteínas.

En la figura 3, mostramos una simulación de un modelo de mioglobina solvatada con agua.



**Figura 3.** Simulación de una molécula de mioglobina solvatada en agua. **A.** Mioglobina rodeada de una capa de moléculas de agua, utilizada en las simulaciones por ordenador (Frauenfelder et al., 2009). **B.** Mioglobina como se estudia la molécula normalmente (Lehninger Principles of Biochemistry).

Las fluctuaciones del disolvente potencian y controlan los movimientos a gran escala y los cambios de conformación de la proteína. Además, los movimientos de la solvatación de la molécula potencian y controlan los movimientos internos de la proteína, como la migración de ligandos. En el caso de la mioglobina, estudiada por Hans Frauenfelder et al., la envolvente hidratada está formada por 2 capas de moléculas de agua, con más de 200 moléculas, y la versión no hidratada de la molécula no funciona. Más aún, durante la función proteica, la conformación de la

proteína no es única, sino que sufre importantes cambios, en gran parte influidos por las propias fluctuaciones del disolvente y de la solvatación.

## ■ Perspectiva histórica

La base teórica para el desarrollo de los programas informáticos de modelado molecular de los ahora premiados con el Nobel en Química 2013, se estableció a principios del siglo XX y fue objeto de cinco premios Nobel en Física: Planck en 1918, Bohr en 1922, Prince de Broglie en 1929, Heisenberg en 1932, y Schrödinger y Dirac en 1933.

Básicamente, los premiados con el Nobel en 2013, realizan su programación en dos sistemas, uno central y otro circundante.

Para el modelado de su sistema central, compuesto por la densidad electrónica de los átomos descrito por la mecánica cuántica, utilizan los métodos de Kohn y Pople, premiados con el Nobel de Química en 1998, por el tratamiento de tales métodos. Kohn recibió el Nobel por el desarrollo de la Teoría Funcional de la Densidad y Pople por el desarrollo de métodos teóricos mediante los cuales se podían investigar las propiedades de las moléculas en los procesos químicos. La Teoría Funcional de la Densidad, posibilitó incorporar los efectos de la mecánica cuántica en la densidad electrónica (en lugar de mediante la función de onda), realizando una simplificación computacional.

Por su parte, el modelado del sistema molecular circundante, que establece el potencial intramolecular, se originó en 1946, cuando tres grupos independientes sugirieron un modelo basado en las interacciones de Coulomb y de van der Waals (Premio Nobel en Física en 1910). El grupo de Westheimer llegó a liderar este campo en aquellos tiempos, en los que no existían ordenadores.

Posteriormente, Allinger desarrolló un código informático y utilizó ordenadores para optimizar la estructura de moléculas, mediante el uso de potenciales empíricos clásicos, en una serie de métodos de mecánica molecular denominados MM1, MM2, etc. En estos métodos la energía del sistema se minimiza para obtener la estructura mas probable del sistema estudiado.

En esta línea, Némety y Scheraga utilizaron las ideas de Westheimer y Allinger y desarrollaron versiones simplificadas de sus potenciales, para el uso en

simulaciones mecánicas estadísticas y para minimizar la energía en estructuras proteicas.

En este momento, de forma aproximada, los métodos de la química cuántica ya empezaban a ser usados para la construcción de potenciales inter e intramoleculares para sistemas complejos. Investigadores destacados en este campo fueron Lifson y Warshel con el desarrollo del método *Consistent Force Field* (CFF). Por su parte, Levitt y Lifson fueron los primeros en utilizar tales potenciales para minimizar la energía de las proteínas. Otro ejemplo bien conocido de un potencial construido teóricamente, fue el denominado potencial MCYII para la interacción agua-agua. Este potencial estuvo basado completamente en cálculos de química cuántica, que se utilizaron para crear un potencial clásico con términos que describían las interacciones electrostáticas y de van der Waals.

La ventaja de los métodos clásicos basados en el potencial, es que la energía puede ser fácilmente evaluada y se pueden estudiar en grandes sistemas, con poca potencia de cálculo informático. El inconveniente es que solo se pueden utilizar para estructuras donde las moléculas que interaccionan sean débilmente perturbadas. Por consiguiente, no pueden ser utilizadas para el estudio de reacciones químicas donde se van formando moléculas nuevas a partir de los sustratos reactivos. Por el contrario, los métodos de la química cuántica pueden ser utilizados para estudiar las reacciones químicas donde las moléculas se forman y se destruyen, pero son muy exigentes con respecto al tiempo de cálculo y al espacio de almacenamiento en el ordenador, por lo que se reduce su utilización a los sistemas más pequeños, al menos en la época de la que estamos hablando, ya que hoy en día con la potencia de cálculo de los nuevos ordenadores de varios núcleos y con los discos de estado sólido, se ha reducido drásticamente el tiempo de cálculo y se ha aumentado la capacidad de almacenamiento.

Los programas de mecánica molecular describen el entorno molecular, pero no resuelven el problema de decidir las propias conformaciones para dicho entorno, lo que permanece aún sin acabar de solucionarse.

Existen dos vías diferentes para intentar resolver este problema, una usada por Allinger en sus métodos MMX, que minimiza la energía del sistema y genera una conformación característica, y otra, la utilizada por Némety y Scheraga, que usan métodos mecánicos estadísticos, como *Molecular Dynamics* (MD) o *Monte Carlo* (MC). El método de Monte Carlo se aplica a sistemas moleculares para pre-

decir los valores promedio de las propiedades de estructuras en medios térmicos; estimar la distribución de cargas en moléculas; calcular constantes cinéticas de reacción, energías libres, constantes dieléctricas, coeficientes de compresibilidad, capacidades caloríficas y puntos de cambio de estado; etc. El método de Monte Carlo recibe este nombre porque consiste en introducir números aleatorios en el cálculo, lo cual permite simular efectos “térmicos”. En este sentido se distingue de la Dinámica Molecular (técnica determinística).

La importancia del trabajo de los tres laureados con el Nobel 2013, es debido a que sus programas son independientes de la estrategia usada para la elección de las configuraciones estudiadas. La concesión del Nobel de Química 2013 se ha enfocado en cómo han evaluado la variación en la energía del sistema real, de modo exacto y eficiente para sistemas donde los cambios relativamente grandes en la geometría o los cambios en la configuración electrónica en una pequeña parte del sistema estudiado, se encuentren fuertemente acoplados a un entorno que está solo débilmente perturbado.

Un medio de abordar este problema ha sido desarrollar un código eficiente de ordenador basado en la ecuación de Schrödinger que hace posible manipular sistemas del tamaño deseado. El planteamiento Car-Parrinello es la principal estrategia en esta línea.

Sin embargo, se exige todavía demasiado a los recursos de computarización, para que sean capaces de manipular los grandes sistemas necesarios para el modelado biomolecular o para que los sistemas supramoleculares amplíen su requerida exactitud. La solución al problema es que, en vez de combinar el modelado clásico de los entornos más grandes, se siga la línea sugerida por Westheimer, Allinger, Némety y Scheraga, con modelado químico cuántico de la región central, donde tiene lugar la reacción química más interesante.

## ■ Química en el ciberespacio

“La reacción química de la fotosíntesis, que se produce en las hojas verdes, llena de oxígeno la atmósfera y es un prerequisite para la vida en la Tierra”. La Real Academia Sueca ha elegido este ejemplo para describir de qué es capaz la biocomputación avanzada de la que Martin Karplus, Michael Levitt y Arieh Warshel pusieron las bases. El proceso además, puede ser útil desde el punto de vista

energético. El primer paso del experimento de la fotosíntesis artificial consiste en realizar una imagen tridimensional de las proteínas que gobiernan la fotosíntesis. Son moléculas gigantes con decenas de miles de átomos, pero en el medio hay una pequeña región denominada centro o *sitio activo* de la reacción, que es donde las moléculas de agua se dividen en oxígeno e hidrógeno. Solo unos pocos átomos de la proteína están directamente relacionados con la reacción, principalmente: manganeso y calcio (en forma de iones) y oxígeno.

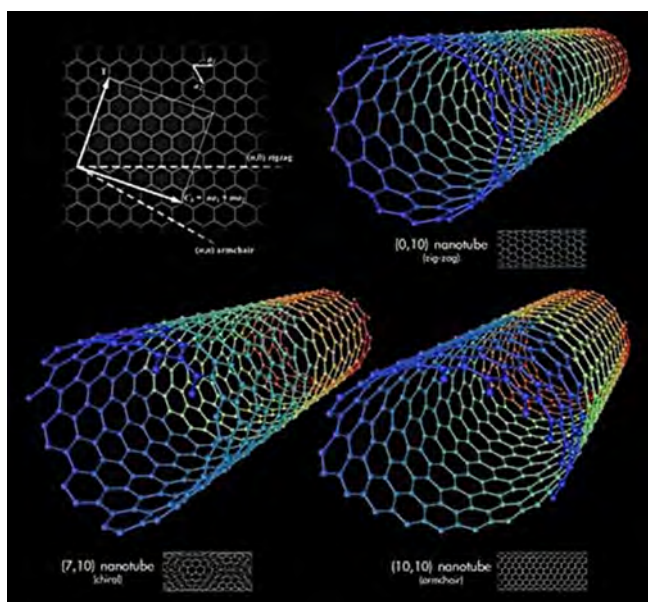
La imagen tridimensional muestra claramente cómo están dispuestos los átomos y los iones en relación unos con otros, es decir, describen la microsimetría local, pero no dice nada acerca de cómo se interrelacionan estos iones y átomos, lo que es vital para establecer un mecanismo de reacción. Y eso es lo que uno tiene que descubrir en el caber experimento químico.

Los detalles del proceso son virtualmente imposibles de visualizar con los métodos tradicionales de la química, porque se suceden en una fracción de milisegundo. Además, es difícil hacer conjeturas sobre los procesos de la reacción a partir de la imagen del ordenador porque esta se tomó cuando la proteína estaba en reposo, mientras que, cuando la luz del Sol ilumina las hojas, las proteínas de la fotosíntesis se llenan de energía y cambia toda la estructura atómica. Por tanto, es necesario establecer cómo es el estado completo de energía, para poder comprender el mecanismo de la reacción química.

Esto es lo que hacen los programas de ordenador que empezaron a desarrollar los galardonados con el Nobel 2013, porque si hasta entonces los modelos clásicos solo representaban las moléculas en estado de reposo, su trabajo ha permitido simular las reacciones mostrando el papel específico de los átomos en diferentes fases de la reacción.

El enfoque actual de estos métodos de simulación en modernos ordenadores, está permitiendo desarrollar la fotosíntesis artificial aplicando la nanotecnología, en nanotubos de carbono. Por el momento, un grupo de científicos de la Hebei Normal University of Science está en pleno trabajo, desarrollando este nuevo proceso que tendría grandes beneficios pues por un lado podría fabricar suficiente hidrógeno para crear la llamada “economía de hidrógeno”, una tendencia que vendría a reemplazar a los combustibles fósiles que se utilizan en coches y demás usos. Por otra parte la fotosíntesis artificial absorbería grandes cantidades de emisiones de carbono en la atmósfera. En la figura 4, vemos un modelado molecular de esos nanotubos.





**Figura 4.** Simulación por ordenador de nanotubos de carbono empleados en la fotosíntesis artificial (<http://ecolosfera.com/fotosintesis-artificial-nanotubos-carbono/>).

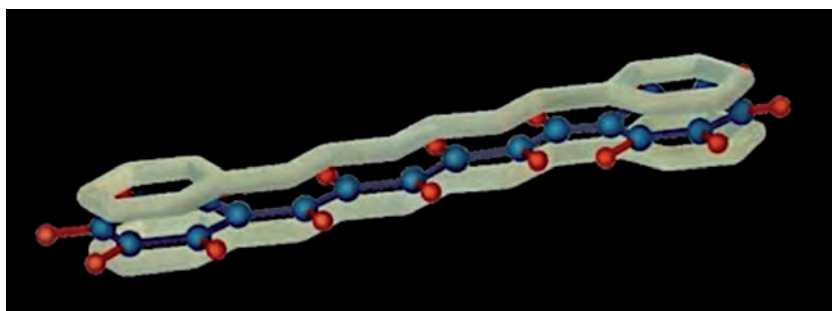
## ■ Contribución de los tres galardonados

La descripción de un sistema químico y un sistema biológico se puede hacer *a priori*, con una gran precisión partiendo de las leyes de la mecánica cuántica, pero en la práctica, el cálculo es tan costoso que solo se puede hacer en sistemas relativamente pequeños. La aportación de Karplus, Levitt y Warshel, ha sido vislumbrar que la física clásica aproximándose a la física cuántica, podía lograr una buena descripción de los sistemas, con un coste computacional moderado. Sus trabajos han permitido ajustar las leyes clásicas para reproducir el comportamiento de los sistemas según las leyes cuánticas y, a partir de ahí, estudiar sistemas químicos y biológicos de enorme tamaño, obteniendo sobre ellos información de una calidad y detalle impensable hasta ahora.

La primera etapa en el desarrollo de un modelado multiescala fue ideada cuando Arie Warshel visitó a Martin Karplus en Harvard a principios de 1970. Warshel había trabajado en potenciales inter e intramoleculares y Karplus poseía la necesaria experiencia en química cuántica. El objetivo fue estudiar moléculas similares al retinal. Este cromóforo, responsable de la visión animal había atraído la atención de



Karplus. Basándose en las ideas presentadas por Honig y el mismo Karplus; este y Warshel construyeron un programa informático que podía calcular, con excelentes resultados, el espectro del electrón situado en orbitales moleculares  $\pi$  y el espectro de vibración de moléculas planas. La base de este planteamiento fue que los efectos de los electrones de los enlaces  $\sigma$  y el del núcleo, fueran modelados usando una técnica clásica y que los efectos de los electrones  $\pi$  lo fueran usando un método PPP (*Pariser Parr Pople*) de química cuántica, corregido para obtener la superposición más cercana. La figura 5 muestra una molécula típica estudiada en ese trabajo.



**Figura 5.** Simetría especular de la molécula de 1,6-difenil-1,3,5-hexatrieno estudiada por Karplus y Warshell (Honig y Karplus, 1971).

Este fue el primer trabajo que demostró que era posible construir métodos híbridos que combinaran las ventajas de los clásicos y los cuánticos para describir sistemas químicos complejos. Este método híbrido particular está restringido a sistemas planos donde la simetría hace una separación natural entre los electrones  $\pi$  que eran cuantizados y los electrones  $\sigma$  que eran manipulados por el modelo clásico.

Pero esta no era una limitación importante, como se demostró unos años más tarde en 1976. Por aquel entonces tuvo lugar la construcción de un esquema general para lograr una división entre los electrones que estaban incluidos en el modelo clásico y los electrones que estaban explícitamente descritos por un modelo de química cuántica, lo que fue explicado en *Dielectric, Electrostatic and Steric Stabilisation of the Carbonium Ion in the Reaction of Lysosyme*.

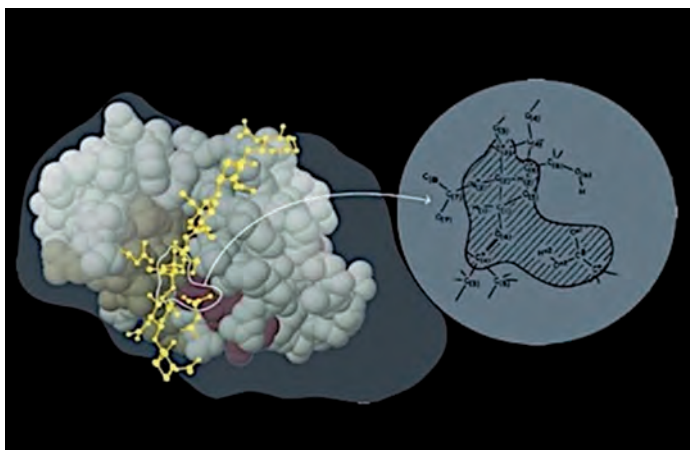
Sin embargo, algunos problemas fundamentales necesitaban ser resueltos para que funcionara tal procedimiento. Tenían que ser consideradas las condiciones energéticas acopladas que moderaran la interacción entre los sistemas clásico y cuántico, como también los acoplamientos entre las partes clásica y cuántica del sistema con el entorno dieléctrico. Warshel y Levitt demostraron que eso era posible.

El método general para el estudio detallado de las reacciones enzimáticas de la lisozima se describe a continuación.

El método considera un complejo único enzima-sustrato junto al solvente circundante y evalúa los diferentes factores de la mecánica cuántica y la energía mecánica que pueden afectar a la reacción. Estos factores incluyen las energías de mecánica cuántica asociadas con la rotura de los enlaces y redistribución de carga del sustrato y las energías clásicas de las interacciones electrostáticas entre el sustrato y el enzima.

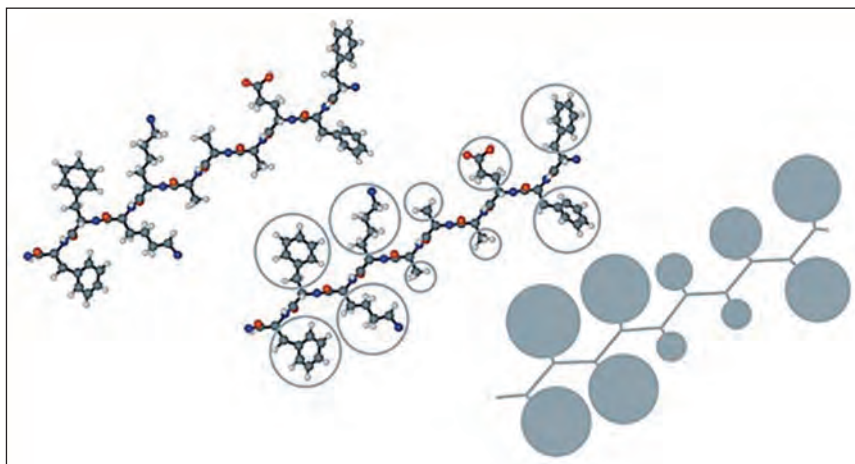
La polarización electrostática de los átomos del enzima y la orientación de los dipolos de las moléculas de agua del entorno, está simulada por un modelo microscópico dieléctrico.

La energía de solvatación resultante de esta polarización es considerable y ha de ser incluida en cualquier cálculo realístico de reacciones químicas que implique algo más que una molécula aislada *en vacío*. Sin esto, los grupos ácidos nunca pueden ser ionizados y la distribución de carga del sustrato no será la real. El mismo modelo dieléctrico puede también ser usado para estudiar la reacción del sustrato en disolución. De esta manera, la reacción en solución puede ser comparada con la reacción enzimática. Estos principios, han sido la base para el estudio de la estabilidad del intermediario del ion carbonio formado en la rotura del enlace glucosídico por la lisozima. Se ha encontrado que la estabilidad electrostática es un factor importante que incrementa la velocidad de la reacción, que conduce a la formación del intermediario del ion carbonio. El sistema estudiado se muestra en la figura 6.



**Figura 6.** Para comprender cómo la lisozima rompe una cadena de glucósido, es necesario modelar solo las partes relevantes del sistema usando química cuántica, mientras que la mayoría del entorno que rodea a dicho sistema puede ser tratado usando mecanismos moleculares o un modelo continuo (Warshell y Levitt, 1976).

En el tiempo transcurrido entre la publicación de los artículos comentados anteriormente, otro importante avance, que ha hecho posible estudiar sistemas incluso más grandes, fue obtenido por Levitt y Warshel en su estudio del plegamiento de la proteína del páncreas bovino; el inhibidor de la tripsina (BPTI). El tipo de simplificaciones del sistema estudiado se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** La estructura detallada de una cadena polipeptídica (arriba) se simplifica asignando cada residuo de aminoácido con un volumen de interacción (en medio) y lo resultante, una estructura tipo collar de perlas (abajo), se usa para la simulación (Nobel Lecture, 2013).

En este trabajo, fue estudiado el plegamiento de la proteína desde una conformación abierta a una conformación plegada, y pudo demostrarse que es posible agrupar átomos dentro de un sistema clásico en unidades rígidas, y tratar estas como *pseudoátomos* clásicos. Es obvio que estos experimentos han de acelerar el modelado de un sistema.

Como hemos comentado al principio, en otros ensayos, se ha recurrido a la difracción de neutrones y de rayos X para verificar el estudio por modelado molecular de biomoléculas.

En un experimento de difracción de neutrones se dirige un haz de neutrones sobre una muestra pequeña y se registra la difracción por moléculas que constituyen la muestra. Cada espacio entre las moléculas actúa a modo de una ranura diminuta, que crea un patrón de difracción característico. Al analizar estos patrones, se determina el intervalo entre las distintas moléculas. Cuando se comparan

los resultados de la difracción de neutrones con las simulaciones por ordenador, en promedio, las distancias mencionadas coinciden.

Y de esto se trata, de que el modelo teórico y el experimental sean lo más aproximados entre sí. De esta manera, se puede utilizar el modelo teórico como predictivo, pero la experimentación sigue siendo indispensable, aún hoy en día, como mínimo para validar el modelo teórico.

El modelo teórico se puede desarrollar antes de la experimentación o después. Por ejemplo, para confirmar la dinámica de una simulación molecular, se puede comparar el comportamiento de una molécula simulada con las propiedades de la misma observadas en el laboratorio y ver cuánto se aproxima a la realidad.

## ■ Dinámica de las proteínas

Las proteínas, como otras moléculas, no son una imagen fija en el espacio, no son estructuras rígidas, sino que se están moviendo y adoptando multitud de configuraciones. Tampoco los átomos ocupan posiciones fijas.

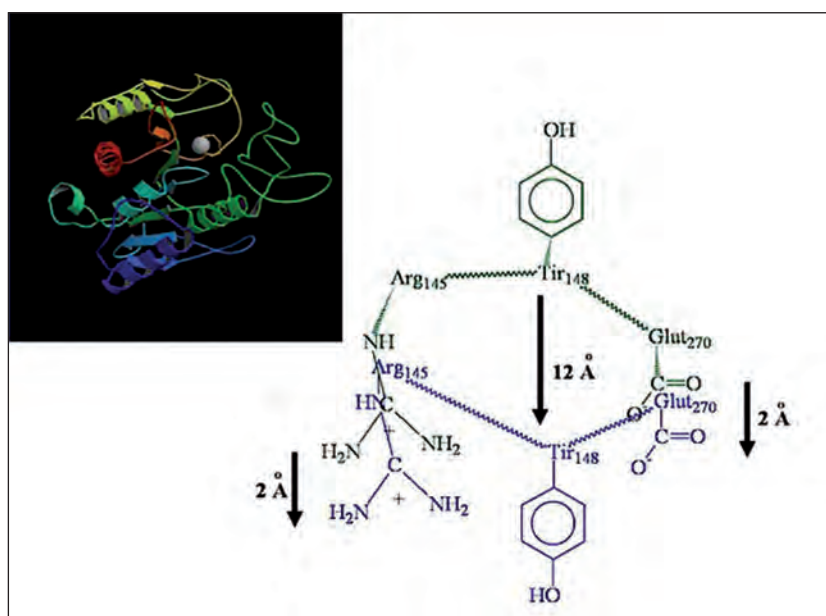
La cristalografía de Rayos X, si acaso, puede aproximarse a la estructura promedio de estas diferentes configuraciones, pero un tratamiento mecano cuántico con el software apropiado si puede además de establecer una estructura promedio, representar a la proteína en distintos estados energéticos y por tanto establecer sus distintas configuraciones, lo que resulta un acercamiento más cercano a la realidad. El modelo teórico, también permite establecer las distancias atómicas promedio, que no son menos importantes que la estructura promedio (sirven de punto de partida de cualquier intento de elaborar descripciones más ajustadas de la actividad de la proteína). Un cristal listo para someterlo a análisis por rayos X viene a contener unas  $10^{20}$  moléculas de proteína; sin embargo, resulta altamente improbable que, en un momento dado, ni siquiera una sola presente la estructura promedio.

Por ello, la imagen dinámica que nos muestra la simulación teórica en estos modelos, permite entender mejor los fenómenos que son inexplicables con otros modelos teóricos estáticos o con los datos instrumentales.

Naturalmente, que la imagen dinámica de los modelos derivan de otras fuentes, incluidas las instrumentales, en especial la cristalografía de Rayos X. Las posiciones cristalográficas no sirven, en principio, para configurar la estructura inicial, puesto que se trata de una estructura promediada, pero se realiza un procedimiento de equilibrado donde se ajustan las posiciones cristalográficas de los átomos de la proteínas (y los de todas las moléculas circundantes de solvente que quiera incluirse en la simulación), de modo que se relajen las fuerzas poco verosímiles, lo que sirve de punto de partida para aplicar el programa informático de construcción molecular.

Y, ¿por qué es importante estudiar la dinámica de las proteínas?

Pues, porque las proteínas tienen acciones enzimáticas, que dependen de las distintas conformaciones de aquella. En la figura 8 se muestra cómo la Carboxipeptidasa A (proteína de cinc de acción hidrolasa) debe de sufrir un cambio conformacional para poder albergar al sustrato (gliciltirosina).



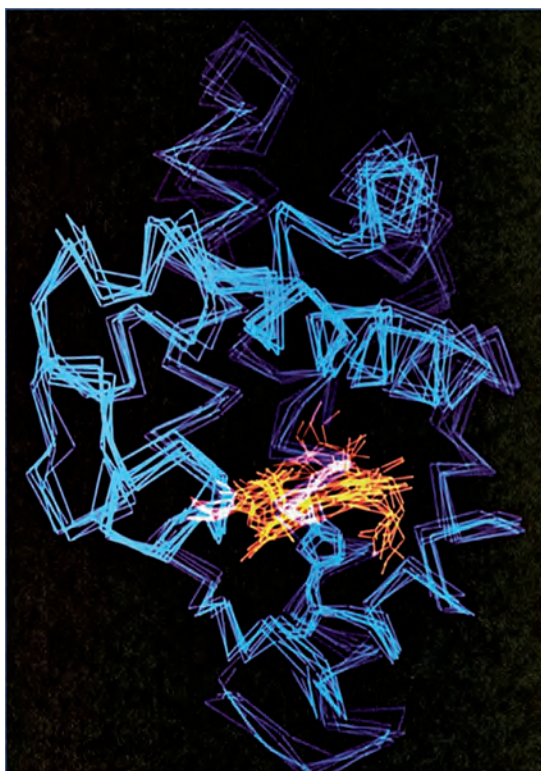
**Figura 8.** Carboxipeptidasa A. Desplazamiento de 12 Å de la tirosina 148 y giro de 180° y desplazamiento del glutámico 270 y de la arginina 145 de 2 Å para poder unirse a la gliciltirosina y realizar su acción peptidasa, dando lugar a glicina y tirosina. Forma en reposo en verde. Forma activa en azul. En la parte superior izquierda: representación en 3D de la Carboxipeptidasa obtenida por un modelo teórico (Protein Data Bank). El modelo de desplazamiento de la derecha es de producción propia (Doadrio, resultados no publicados).

Además, hay que tener en cuenta que en el caso de las metaloproteínas (donde el metal está en el sitio activo) la proteína, que se construye sin el metal, debe de albergar a este en el sitio activo y enlazarse mediante átomos (O, N, S) de los aminoácidos a él, por lo que es necesario en muchas ocasiones, que se produzcan cambios conformacionales dinámicos, para adaptar las distancias de enlace de los átomos proteicos al metal.

El desarrollo de los programas informáticos que dieron lugar a la comprensión de la dinámica de las proteínas es la aportación más importante del pionero Warshel.

Los programas informáticos de dinámica molecular, permiten superponer distintas configuraciones proteicas, tal como se muestra para la mioglobina en la figura 9.

Como cualquier proteína, la mioglobina es una cadena de aminoácidos (figura 9 en azul). Debido a la complejidad de los cálculos que llevarían mucho tiempo, el programa elabora la cadena en una versión simplificada que solo presenta la posición del átomo de carbono central de cada aminoácido. La cadena adopta una conformación plegada tridimensional, que le es característica.



**Figura 9.** Superposición de siete posiciones adoptadas por una molécula de mioglobina a intervalos de cinco picosegundos, según propone una simulación de la dinámica molecular efectuada por ordenador realizada por John Kuriyan, de la Universidad de Harvard con el programa HYORA (Karplus y McGammon, 1986).

En la mioglobina, esa conformación consta de ocho segmentos de hélice alfa conectados por pequeños bucles de unos pocos aminoácidos. En la simulación, las hélices se mueven sin perder su forma. La molécula de mioglobina

contiene también un grupo hemo (color naranja), en cuya parte central se halla un  $\text{Fe}^{2+}$  capaz de unirse al oxígeno atmosférico para almacenarlo en el tejido muscular.

Claro que como cualquier problema, un sistema se puede complicar más, como ocurre en los procesos activados. En este caso, la simulación de la dinámica convencional muestra grandes carencias y no se puede aplicar.

Hay que construir nuevos modelos teóricos, que expliquen la mecánica del proceso, determinados factores como la velocidad a la que se produce. En estos modelos, se calcula la magnitud de la barrera energética que se opone a la transición y también se calculan las trayectorias de la molécula partiendo de configuraciones situadas en lo más alto de la barrera energética o en su vecindad, determinando así la configuración más probable de la molécula activada correspondiente a la energía de activación. De esta manera, se puede predecir la velocidad a la que transcurre la transición energética.

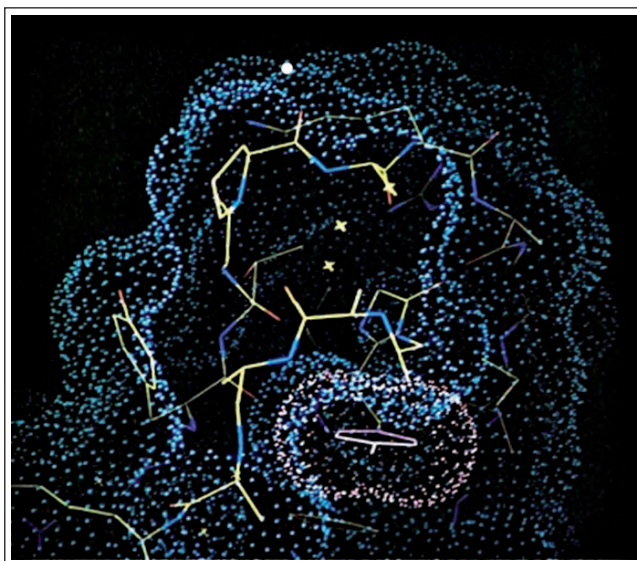
Podemos poner un ejemplo: la rotación de  $180^\circ$  de un anillo de tirosina. Hemos visto anteriormente que esto sucede en la Carboxipeptidasa A, pero también lo hace en el inhibidor de la tripsina pancreática de buey, al cual se le aplicó un tratamiento de dinámica activada.

La técnica de modelado dinámico empleada para entender este giro demuestra que la rotación del anillo tiene un movimiento colectivo, ya que es precedida por un desplazamiento de una sección de la cadena polipeptídica situada en una cara del anillo, que contribuye decisivamente en la rotación ya que reduce considerablemente la barrera energética que impide el giro. Vale de ejemplo de los procesos moleculares en los que las fluctuaciones estocásticas de una molécula de proteína permiten una transición conformacional brusca.

Y ya hemos visto en la carboxipeptidasa A, que ello tiene consecuencias en el mecanismo enzimático, que puede ser en la misma región o en otra.

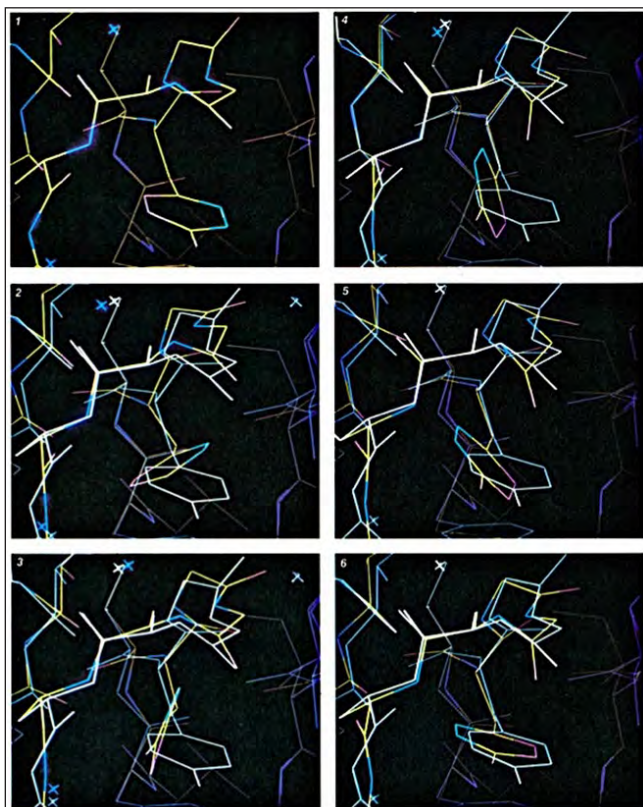
En la figura 10 podemos ver la situación del anillo de la tirosina en el inhibidor de la tripsina pancreática y en la figura 11 el resultado de su rotación.





**Figura 10. Anillo hexagonal** de átomos de carbono que caracteriza la cadena lateral del aminoácido tirosina (magenta) situado en la región interna de la proteína denominada inhibidor de la tripsina pancreática de buey. La imagen muestra los enlaces que constituyen el anillo (líneas magenta), además de su superficie de van der Waals (puntos magenta), que encaja con gran precisión en la estructura estática de la proteína (puntos azules). De ser rígida la proteína, el anillo de tirosina no podría dar la vuelta, esto es, rotar  $180^\circ$  (Karplus y McCammon, 1986).

**Figura 11. Rotación** del anillo de tirosina en el interior del inhibidor de la tripsina pancreática. Se repite su posición inicial (1) en los pasos siguientes de la simulación para que sirva de referencia (hexágono blanco en 2-6). Al poco de iniciarse la simulación, el esqueleto se aleja del anillo de tirosina. Tal fluctuación abre un hueco que reduce considerablemente la barrera energética que en un principio se opone al giro; la colisión del anillo con los átomos que persisten en sus inmediaciones tiende a impulsar la rotación (Karplus y McCammon, 1986).





## ■ Modelos multiescala hoy

Los trabajos premiados en 2013 con el Nobel de Química, se consideran como el punto de partida para posteriores desarrollos teóricos de modelos y estudios aplicados más precisos. Muchas contribuciones importantes ya han sido realizadas, no solo por los premiados, sino también por otros grupos. La metodología ha sido utilizada para estudiar no solo los procesos complejos en química orgánica y bioquímica, sino también el cálculo teórico del espectro de moléculas disueltas en un líquido. Pero, lo más importante, es que se ha abierto una cooperación fructífera entre la teoría y el experimento, que ha hecho que muchos problemas hasta ahora insolubles, tengan solución.

Utilizando la adecuada combinación de física cuántica y clásica, y superordenadores, Karplus, Levitt y Warshel han contribuido, entre otros, a la comprensión de procesos biológicos tan complejos como el plegamiento y la funcionalidad de algunas proteínas, la reparación del ADN, el funcionamiento de maquinarias moleculares y la catálisis enzimática. También dieron un notable impulso al diseño por ordenador de fármacos y moléculas biológicas con nuevas propiedades.

Por todo ello, no es aventurado afirmar que, en un futuro no muy lejano, la química de laboratorio se vaya nutriendo cada vez más del poder predictivo de la química computacional y que, apoyada en el rápido desarrollo de los ordenadores, esta última pueda orientar e incluso reemplazar a multitud de experimentos exploratorios o de tanteo como los que se realizan en las fases iniciales de toda investigación en química.

Sin embargo, los cálculos de la dinámica molecular son los que más tiempo consumen y todavía tienen sus límites de cálculo informático. Esto sucede en el superordenador *Mare Nostrum* instalado en el *Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación* (BSC-CNS) en Barcelona, España, y de hecho, en muchos otros superordenadores del mundo.

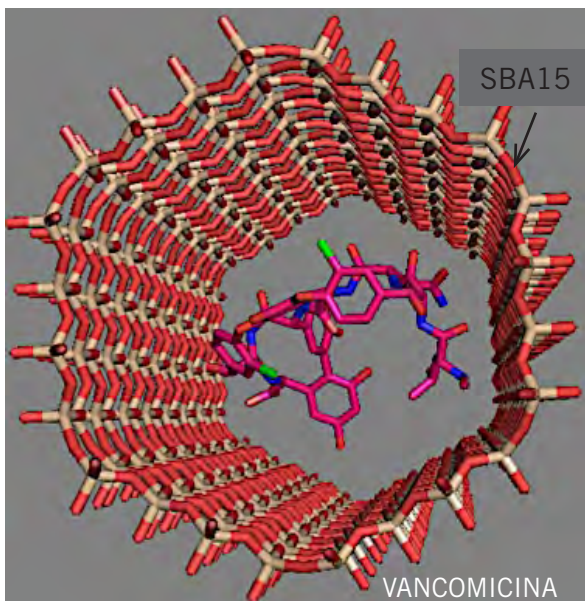
Se han fabricado, incluso, algunas de estas máquinas específicamente para los cálculos de dinámica molecular, lo que ha permitido observar las proteínas como maquinarias nanoscópicas en constante movimiento. Como un logro reciente de ese tipo de supercomputación química destaca el modelado completo del virus del sida, el VIH, con decenas de millones de átomos o la visualización del complejo proceso del plegamiento de proteínas.

Las simulaciones por ordenador aportan una información cada vez más rica sobre la estructura y función orgánica de las biomoléculas. Sin embargo, ello supone mantener una permanente batalla con las limitaciones técnicas de la computación y el coste de los superordenadores en el empeño por simular moléculas cada vez más complejas y en ambiente acuoso.

Todos los campos de la ciencia se han beneficiado de la metodología empleada por los premiados con el Nobel de Química 2013. La modelación molecular clásica o la dinámica, se están empleando constantemente en todos los campos del saber.

Como ejemplo de esta influencia, nuestro grupo está aplicando en la actualidad el modelado molecular para dilucidar el mecanismo de la cinética de liberación de fármacos en materiales mesoporosos ordenados. Se ha conseguido modelar un tubo de SBA15 (material mesoporoso ordenado de sílice) y simular las interacciones electrostáticas que se producen con el antibiótico vancomicina, lo que influye decisivamente en la velocidad de la cinética de liberación de dicho fármaco. En la Figura 12 se muestra una simulación del tubo de SBA15 con vancomicina.

Esta simulación molecular ha permitido explicar un hecho experimental, que la cinética de liberación de la vancomicina en SBA15 es mucho más lenta cuando se funcionaliza la matriz de SBA15 con cadenas de C18. El modelo molecular teórico demostró que las interacciones electrostáticas eran más intensas en el material funcionalizado que en el no funcionalizado, por lo que la retención en el tubo era mayor. Modificando pues, la naturaleza del material (SBA15), se puede controlar la liberación de la vancomicina, lo que supone un beneficio con aplicaciones farmacológicas en implantes expuestos a infecciones.



**Figura 12.** Simulación de un tubo de SBA15 con vancomicina en vacío (Doadrio *et al.*, 2010).

Por todo ello, en nombre de muchos investigadores, es obligado mostrar nuestro agradecimiento a los galardonados Martin Karplus, Michael Levitt y Arie Warshel.

## ■ Agradecimientos

Quiero expresar mi reconocimiento a la inestimable ayuda prestada por D.<sup>a</sup> **Adoración Urrea Salazar** en la búsqueda de bibliografía y preparación de figuras.

## ■ Abreviaturas

BPTI. Inhibidor de la tripsina de páncreas bovino (*Bovine Páncreas Trypsin Inhibitor*).

CFF. *Consistent Force Field*. Campo de fuerza de segunda generación.

LFER. *Linear free energy relationship*. Relaciones lineales de energía libre.

MC. Monte Carlo.

MD. Dinámica molecular.

MMX. Software de modelado molecular de campo de fuerza.

NMR. Resonancia magnética nuclear.

PPP. Pariser-Parr-Pople. Método semiempírico de la mecánica cuántica para predicción de estructuras electrónicas.

QM/MM. Combinación de mecanismos cuánticos con mecanismos moleculares.

## ■ Bibliografía consultada

Allinger, N.L., Miller, M.A., Chow, L.W., Ford, R.A. y Graham, J.C. (1965). The Calculated Electronic Spectra and Structures of Some Cyclic Conjugated Hydrocarbons 1,2. *J. AmerChem Soc.* 87, 3430- 3435.

Allinger, N.L., Miller, M.A., Van Catledge, F.A. y Hirsch, J.A. (1967). Conformational analysis. LVII. The calculation of the conformational structures of hydrocarbons by the Westheimer-Hendrickson-Wiberg method. *J Amer Chem Soc.* 89, 4345-4357.

Car, R. y Parrinello, M. (1985). Unified approach for molecular dynamics and density-functional theory. *Phys Rev Lett.* 55, 2471-2474.

- Doadrio, A.L., Doadrio, J.C., Sánchez-Montero, J.M., Salinas, A.J. y Vallet-Regi, M. (2010). A rational explanation of the vancomycin release from SBA-15 and its derivative by molecular modelling. *Microporous and Mesoporous Materials*. 132 559-566.
- Field, M.J., Bash, P.A. y Karplus, M. (1990). A combined quantum mechanical and molecular mechanical potential for molecular dynamics simulations. *J Comp Chem*. 11, 700-713.
- Frauenfelder, H., Chen, G., Berendzen, J., Fenimore, P.W., Jansson, H., McMahon, B.H., Stroe, I.R., Swenson, J. y Young, R.D. (2009). A unified model of protein dynamics. *PNAS*. 106 (13) 5129-5134.
- Frauenfelder, H. *et al.* (2009). A unified model of protein dynamics. *PNAS*, 106, 13.
- Frenkel, D. y Smit, B. (1996). *Understanding Molecular Simulations*. Academic Press, San Diego, USA.
- Gerstein, M. y Chothia, C. (1996). Packing at the protein water interface *PNAS (USA)* 93, 10176-10172.
- Gerstein, M. y Levitt, M. (1999). El agua y las moléculas de la vida. *Investigación y Ciencia* 269, 58-63.
- Hill, T.L. (1946). Theory of multimolecular adsorption from a mixture of gases. *J ChemPhys* 14, 46.
- Honig, B. y Karplus, M. (1971). Implications of torsional potential of retinal isomers for visual excitation. *Nature* 229, 558-560.
- Kamerlin, S.C.L. y Warshel, A. (2011). Multiscale modeling of biological functions. *PhysChemChemPhys*, 13, 10401-10411.
- Karplus, M. y McCammon, J.A. (1986). Dinámica de las proteínas. *Investigación y Ciencia* 117, 18-28.
- Levitt, M. y Park, B.H. (1993). Water: Now you see it. Now you don't. *Structure* 1, 223-226.

- Levitt, M. y Lifson, S. (1969). Refinement of protein conformations using a macromolecular energy minimization procedure. *J Mol Biol.* 46, 269-279.
- Levitt, M. y Warshel, A. (1975). Computer simulation of protein folding. *Nature* 253, 694-698.
- Levitt, M. (1976). A simplified representation of proteins conformation for rapid simulation of protein folding. *J Mol Biol.* 104, 59-107.
- Levitt, M. y Sharon, R. (1998). Accurate simulation of protein dynamic in solution *PNAS USA* 85, 7557-7561.
- Lifson, S. y Warshel, A. (1968). Consistent Force Field for Calculations of Conformations, Vibrational Spectra, and Enthalpies of Cycloalkane and nAlkane Molecules. *J Chem Phys.* 49, 5116.
- Matsuoka, O., Clementi, E. y Yoshimine, M. (1976). CI study of the water dimer potential surface. *J Chem Phys.* 66, 1351.
- Messer, B.M., Roca, M., Chu, Z.T., Vicatos, S., Kilshtain, A.V. y Warshel, A. (2010). Multiscale simulations of protein landscape: using coarse-grained models as reference potentials to full explicit models. *Proteins* 78, 1212 -1227.
- Mukherjee, S. y Warshel, A. (2012). Realistic stimulation of the coupling between the promotive force and the mechanical rotation of the FO-ATPase. *PNAS* 109, 14876-14881.
- Nelson, D.L. y Michael, M.C. (2008). *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5th ed. New York: W. H. Freeman and Company.
- Némethy, G. y Scheraga, H. (1965). Theoretical determination of sterically allowed conformations of a polypeptide chain by a computer method. *Biopolymers* 4, 155-184.
- Pariser, R. y Parr, R. (1953). A Semi Empirical Theory of the Electronic Spectra and Electronic Structure of Complex Unsaturated Molecules. I. *J Chem Phys* 21, 466.

Pople, J.A. (1953). Electron interaction in unsaturated hydrocarbons. *Trans. Faraday Soc.* 49, 1375 -1385.

Senn, H.M. y Thiel, V. (2009). QM/MM methods for biomolecular systems *Angew Chem Int Ed Engl.* 48, 1198-1229.

The Nobel Foundation (2013). Scientific background on the Nobel Price in Chemistry. The Royal Academy of Sciences. October 9, pp 1-10.

Warshel, A. y Karplus, M. (1972). Calculation of ground and excited state potential surfaces of conjugated molecules. I. Formulation and parametrization. *J Amer Chem Soc.* 94, 5612.

Warshel, A. y Levitt, M. (1976). Theoretical studies of enzymic reaction: Dielectric electrostatic and steric stabilization of the carbonium ion in the reaction of lysozyme. *J Mol Biol.* 103, 227-249.

[www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2013/advancedchemistryprize2013.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2013/advancedchemistryprize2013.pdf)

[www://francis.naukas.com/2009/03/05/el-agua-es-fundamental-para-entender-la-dinamica-molecular-de-las-proteinas/](http://www.francis.naukas.com/2009/03/05/el-agua-es-fundamental-para-entender-la-dinamica-molecular-de-las-proteinas/)



# Premio Nobel de Literatura 2013

## ALICE MUNRO

Evangelina Palacios Aláiz  
y Rosa Basante Pol



Alice Munro

La narración oral es ancestral y es inmortal. En contarnos historias unos a otros ocupamos una buena parte de nuestra vida. En la infancia, niños y niñas, muestran un extraordinario interés por esos fantásticos y breves relatos que son los cuentos; hasta el punto de que para satisfacer su avidez por escuchar una vez más sus preferidos, solicitan su repetición hasta el infinito.

El cuento es el más antiguo y el más nuevo de los géneros literarios, aunque fue con la Revolución Industrial cuando se reafirma el cuento literario. El tren fue el gran aliado para su difusión. “Era” –como dice Emilio Pacheco– “una manera ideal de ocupar las horas muertas del viaje. No se explica sin las grandes ciudades, sin el ferrocarril, sin el auge de la alfabetización (indispensable para hacer de los campesinos obreros especializados), sin la lámpara de gas, (que permitió la lectura solitaria y silenciosa) y sin la aparición de la pluma metálica que aumentó la velocidad de la escritura”.



El pasado 10 de octubre, Alice Munro, de nacimiento Alice Ann Laidlaw, tras figurar en sucesivas ediciones como candidata para el más importante galardón de las letras universales, conoció el desenlace más feliz para el gran cuento de su vida literaria al ser proclamada ganadora del Premio Nobel de Literatura 2013.

La Academia de Estocolmo consideró que Munro es una *“maestra de la narración breve contemporánea”*. Al hacer pública su decisión se indicó, también, que la señora Munro, de 82 años de edad, ha escrito 14 colecciones de relatos y se elogió *“su sutil narración, que se caracteriza por la claridad y el realismo psicológico”*.

“Encontramos, a menudo en sus textos, descripciones de acontecimientos cotidianos pero decisivos, una especie de epifanías, que esclarecen la historia e iluminan las cuestiones existenciales” (...). “Sus historias se desarrollan a menudo en ciudades pequeñas, donde la lucha por una existencia aceptable, genera a menudo relaciones tensas y conflictos morales, anclados en las diferencias generacionales o de proyectos de vida contradictorios” expresó Peter Englund, secretario permanente de la Academia Sueca, transmitiendo la opinión del Jurado del Nobel de Literatura.

Peter Englund, resaltó la importancia de que una escritora como Alice Munro reciba el galardón porque el acontecimiento implica, también, el reconocimiento y distinción para el cuento como género literario. “Que el Premio Nobel de Literatura haya quedado en manos de esta eximia cuentista es todo un mensaje a la comunidad literaria”. “El cuento, estilo que fue más popular en el siglo XIX y comienzos del XX, ha quedado relegado, actualmente, ante las novelas”, declaró Englund.

El Nobel de las Letras viene a reconocer, en esta edición, el enorme talento de una de las escritoras canadienses más importantes de toda la historia y la convierte en la primera mujer canadiense galardonada con la más destacada distinción de la literatura mundial (Saúl Bellow, que obtuvo el Nobel en 1976, nació en Quebec pero realizó toda su carrera en Chicago y pertenece a la literatura de los Estados Unidos). Es, por otro lado, la decimotercera mujer laureada entre las 110 personas distinguidas con el Premio Nobel de Literatura, a través de las 106 ediciones en las que se ha otorgado el prestigioso galardón.

De la mano de Alice Munro, el Premio Nobel de las letras y más prestigioso galardón del mundo literario, viaja por primera vez a Canadá, lejos del Japón de

Haruki Murakami –uno de los favoritos– pero cerca de Estados Unidos, tierra de otros firmes candidatos: Philip Roth y Joyce Carol Oates. Sin embargo, el perfil predominante de los literatos premiados sigue siendo eurocéntrico y masculino: Francia es el país con más premiados y el inglés es el idioma hegemónico (27 son los escritores de habla inglesa que recibieron el Nobel de las letras incluyendo a Munro). Por otra parte, solamente una de cada ocho personas laureadas, a través de las 106 ediciones en las que se concedió el Premio Nobel de Literatura, es mujer.

La canadiense recibe el Premio cuatro años después de la rumano-alemana Herta Müller, que lo obtuvo en 2009 y con un siglo y cuatro años de distancia de la novelista sueca Selman Lagerlof, que en 1909, abrió la representación femenina en los Nobel de Literatura.

Alice Munro pasará a la historia, también, por haber sido la primera Nobel de Literatura que recibió el anuncio en el contestador del teléfono. A través del *Twitter* para el Premio Nobel se conoció que, ante la imposibilidad de localizar a la señora Munro antes de hacer pública la noticia, la Academia Sueca dejó un mensaje en su contestador. Según informó la agencia de noticias *Associated Press*, fue el propio Peter Englund, quien llamó a Munro para comunicarle la decisión de la Academia. Sin embargo, después de varios intentos frustrados para contactar con la escritora, optó por dejarle un mensaje en su contestador para informarle de su victoria: “Ha ganado el Nobel de Literatura”.

Alice Munro conoció por primera vez la noticia en voz de su propia hija quien a las cuatro de la madrugada la despertó para comunicarle que era *la flamante Nobel de Literatura*.

Pocos minutos después, en una entrevista telefónica que dio a la cadena canadiense CBC, Munro, expresaba su sorpresa a la vez que su entusiasmo. “Estamos aquí en plena noche, me había olvidado de todo. Cuando mi hija me despertó no entendía bien por qué, pero esto es grandioso”. “Me parece imposible, es un suceso espléndido. No puedo describirlo”. “Estoy terriblemente sorprendida, pero también encantada”. “Sabía que tenía posibilidades, sí, pero nunca pensé que ganaría. Es como una de esas ilusiones que podrían ocurrir, pero que probablemente nunca ocurran”. “Siempre es una especie de milagro que puedas llevar tu trabajo, tus pensamientos, a otras personas...”.

## ■ Otros reconocimientos a su obra literaria

Alice Munro, brillante escritora de habla inglesa, premiada por su “*maestría en el arte del relato breve*” y considerada mundialmente como líder en este estilo literario, ha recibido a lo largo de su carrera reconocimientos y premios de gran prestigio, entre los que cabe destacar: el *Man Booker International Prize*, uno de los más importantes premios de la literatura anglosajona, que le fue otorgado en 2009 por la “gran contribución de su obra al panorama literario mundial”. En tres ocasiones fue galardonada con el *Governor General's Literary Award* que selecciona la mejor obra literaria canadiense del año. Recibió los, también, canadienses, *Giller Prize* (en dos de sus ediciones) y el *Booksellers Award* (por su trabajo *Lives of Girls and Women*); los premios estadounidenses, *National Book Critics Circle*, *Rea Award* y *Lannan Literary Award*; el inglés *W.H. Smith Award*; el italiano *Ennio Flaiano*. En España se le ha otorgado el *Premio Reino de Redonda* en 2005 y en 2011 fue una de los tres finalistas al *Premio Príncipe de Asturias de las Letras* junto a Ian McEwan y a Leonard Cohen, que finalmente lo ganó.

## ■ Apuntes bio-bibliográficos

Alice Munro, cuyo nombre de pila es Alice Ann Laidlaw, a diferencia de otras superestrellas contemporáneas, no tiene más biografía que sus propios libros. Nació el día 10 de julio de 1931 en Wingham, un pueblo de Ontario, en Canadá, país que en esas fechas se hallaba en plena depresión económica.

Hija de una familia presbiteriana de origen escocés pasó los primeros años de su vida en una granja al oeste de la citada provincia canadiense. Su padre, Robert Laidlaw, era cazador y se dedicaba a la cría de armiños y visones. Su madre, en cambio, era maestra, mujer avanzada, que chocó con los prejuicios sociales del pueblo y se empeñó, con éxito, en que su hija estudiase. Alice Ann Laidlaw, amó la naturaleza –entonces casi intacta– y heredó de su madre la afición por la lectura y por las narraciones orales en las largas noches de invierno.

El tipo de vida elemental de su infancia fue, al parecer, decisivo como trasfondo en varios de sus relatos. La mayoría de las historias que narra se desarrollan en ambientes rurales, similares a los que ella recorrió en su Ontario natal. En los primeros relatos que emergen de su pluma, capta la diferencia entre sus propias experiencias: al crecer en Wingham, ciudad canadiense conservadora del oeste de

Toronto, y su vida después de la revolución social de los años 1960. Refiriéndose a esa década de los 60 del siglo pasado, que la escritora describió como “maravillosa”, Munro, en el año 2003, en el transcurso de una entrevista que mantuvo con la prensa, manifestaba: “Habiendo nacido en 1931, yo era ya un poco mayor, pero no demasiado. Y transcurridos un par de años, las mujeres como yo, estábamos usando minifaldas y caminando empavonadas”.

A pesar de que en su propia peripecia vital se resumen los grandes cambios que para la mujer supuso el siglo XX –desde la necesidad de casarse, para huir de su destino, hasta convertirse en una mujer emancipada en los setenta–, su manera de entender el oficio literario sigue estrechamente unida a la moral presbiteriana. La escritura sin vanidad fue la escuela moral de la joven Alice; el trabajar casi en secreto, sin hacer exhibición de los logros alcanzados, parece haber marcado su trayectoria vital.

En una entrevista concedida al *New Yorker* a finales del 2012, para hablar de los relatos incluidos en *Mi vida querida*, Munro, comenta a Deborah Treisman: “Me educaron para creer que lo peor que podía hacer era llamar la atención sobre mí o pensar que era inteligente o brillante. Mi madre era una excepción, pero esa regla se aplicaba sobre todo a la gente del campo como nosotros (...) Ninguna de las chicas que conocí fue a la Universidad y muy pocos de los chicos lo hicieron. Yo estuve solo dos años, y gracias a una beca, aunque entonces conocí a mi marido. En ese momento comencé a escribir dedicándole mucho tiempo, eso era lo que había soñado desde niña, porque éramos muy pobres pero jamás nos faltaron los libros”.

Finalizada su formación en la Escuela Secundaria, consiguió una beca para la Universidad de Ontario Occidental donde se desplazó para estudiar Periodismo y Filología Inglesa. En su época universitaria ya vendía alguno de los cuentos a la radio CBC en Canadá y varios de sus relatos se publicaban en revistas locales. En 1950, siendo estudiante, se publicó su primera historia: “Las dimensiones de una sombra”. En aquellos tiempos realizaba, también, trabajos manuales con el fin de obtener ayuda económica para vivir y sufragar sus estudios.

En la Universidad conoció a James Munro, un compañero, con el que estableció relaciones y que sería su primer marido; con él se casó en 1951. Interrumpió, entonces, sus estudios y se instaló en Vancouver, junto a su esposo, con quien procreó tres hijas la primera de las cuales nació cuando Alice tenía 21 años.

Desde entonces se dedicó de lleno a las tareas domésticas. Apenas superados los 30 años de edad, la escritora –que desde su adolescencia había escrito relatos y que desde la década de 1950 vendía sus cuentos para la radio pública canadiense a la vez que publicaba en varias revistas– se sentía tan deprimida que “apenas podía escribir una oración”.

No es casual que la biografía que sobre ella escribió Catherine Sheldrick lleve por título *A double life* –Una vida doble–, aquella que todos veían, la de esposa y madre, y otra tan oculta como firme y poderosa, la que le proporcionaba esa mente fantasiosa que le permitió crearse una existencia paralela desde los 12 años.

En 1963 el matrimonio y sus tres hijas se trasladaron a Victoria, en la Columbia Británica donde abrieron una librería, Munro’s Books. Esta circunstancia favorable a su vocación propició que con estímulo renovado Alice Munro recuperase su talento narrativo a la vez que se deterioraba su matrimonio.

Su primer libro de cuentos, *Dance of the Happy Shades* –Danza de las sombras felices– (1968), tuvo una extraordinaria acogida en Canadá y ganó el premio Governor. General’s Literary Award.

En 1971 publicó su primera (y la que se considera su única) novela: *Lives of Girls and Women* –La vida de las Mujeres– (RBA, 1971). Algunos críticos consideran que es un tomo de cuentos entrelazados, pero no cabe duda de que es la expresión literaria que Alice Munro logró escribir bien entrada la noche y al alba. En una entrevista publicada en *The Paris Review*, la autora, recuerda que el año que escribió la novela “tenía tres niñas a su cargo, trabajaba dos días a la semana en la librería de su marido, escribía hasta la una de la madrugada y se levantaba a las seis de la mañana”.

Comprendió que sin el “cuarto propio que reclamaba Virginia Woolf” y la energía que se requiere para sentarse varias horas diarias a la máquina de escribir, en vez de consagrarlas a las fatigosas y efímeras labores de la casa, le era imposible ser novelista. En 1971 tuvo el convencimiento de que nunca escribiría una novela convencional porque “no dominaba las distancias largas, no acertaba los ritmos que necesita una trama para desplegarse como un mapa...”.

Más adelante, la narradora experimentaría los efectos de la magia que le acompaña en sus breves relatos. En opinión de Silvia Querini, editora de su obra en es-

pañol, “cada cuento suyo es un universo entero marcado por la perplejidad frente al mundo” “Yo siempre pensé que iba a ser novelista”, –declaraba Alice Munro a *The New Yorker*, en 1912–. “Me decía que cuando mis hijas fuesen mayores y yo tuviese más tiempo para escribir novelas, iba a hacerlo. El cuento estaba puramente determinado por la duración de las siestas de mis hijas”. “Durante años y años pensé que mis relatos solo eran tentativas para escribir una Gran Novela, pero descubrí que lo mío eran las narraciones breves. Esa era la manera en la que aprendí a escribir y ya no pude hacer otra cosa. Igualmente debo aclarar que las novelas que más me gustan son las cortas”.

En 1972 se divorció de James Munro, y regresó a su Ontario natal. Allí sintió que el mundo de su niñez y adolescencia había desaparecido y que su propia gente la veía con desconfianza por ser escritora y divorciada. Para entonces, Alice Munro se había convertido ya en una fructífera escritora.

En 1976 se volvió a casar, esta vez con un viejo amigo de la universidad, el geólogo y geógrafo Gerald Fremling con el que compartió su vida hasta abril pasado, que tuvo lugar el fallecimiento de su segundo marido. Alice Ann que ha conservado el apellido de su primer marido consolidó, a partir de esas fechas, su carrera de escritora ya bien orientada.

Munro es conocida principalmente por sus historias breves. Ha publicado 14 colecciones de cuentos en otros tantos libros y su obra ha sido traducida a casi una veintena de idiomas. Sus trabajos incluyen *Who Do You Think You Are?* –¿Quién crees que eres?– (1978), *The Moons of Jupiter* –Las lunas de Júpiter– (1982), *Runaway* –Infierno– (2004), *The View from Castle Rock* –La vista desde Castle Rock– (2006), *Too Much Happiness* –Demasiada felicidad– (2009) y *Dear Life* –Mi vida querida– (2012) (ver bibliografía).

Siete de sus ficciones han sido llevadas a la pantalla, especialmente a la televisión. Uno de los relatos más conocidos, *The Bear Came Over the Mountain* –Ver las orejas al lobo–, perteneciente a la colección *Hateship, Friendship, Courtship, Loveship, Marriage* –Odio, amistad, noviazgo, amor, matrimonio– (2001) se convirtió en la base de la película “Lejos de ella”, dirigida por Sarah Polley en 2006, e interpretada por Julie Christie, como protagonista, que encarna a una mujer afectada por la enfermedad de Alzheimer, que empieza a perder la memoria y coincide con su marido en que debe ser internada en un asilo de ancianos. Su más

reciente colección es *Dear Life* –Mi vida querida– conocida en 2012. Diez de sus libros han sido traducidos al español.

Alice Munro, que había anunciado su retiro en 2012 con la publicación de *Dear Life* (Mi vida querida), no es una escritora proclive a hacerse ver u oír en los medios de comunicación. Esquiva con la prensa, a sus 82 años lleva una vida tranquila, alejada de la agitación mediática en Clinton, pueblo canadiense a 175 km de Toronto, en el suroeste de Ontario.

Muy cerca del lago Hurón y de su casa de la infancia, se sitúa el lugar de residencia actual de la más reciente laureada con el Premio Nobel de las letras. Pasa algunos meses en Comox, en la isla de Vancouver, en la Columbia Británica y largas temporadas de vacaciones en la ciudad colombiana de Cartagena de Indias donde ha escrito varias de sus novelas. No tiene *e-mail*, se comunica con sus agentes y editores por carta. Rara vez sale en televisión o da entrevistas. No opina sobre lo que no sabe ni descalifica a otros escritores. Su única tarea es narrar con la claridad y el realismo psicológico que la caracteriza para convertir en obras universales las historias de la gente sin historia. La mayor parte de sus cuentos han aparecido en *The New Yorker* gracias al genio editorial de Maxwell Taylor. Él le consiguió el privilegio de una anualidad a cambio de darle la primera opción sobre toda su obra.

## ■ Comentarios a su obra literaria

### ***Munro y la literatura canadiense***

Alice Munro es considerada, en su país y fuera de él como la maestra mundial del relato contemporáneo. Avalan su calidad narrativa los numerosos y autorizados premios literarios recibidos hasta 2013 (citados previamente) y la certifica, así mismo, el Comité del Premio Nobel de Literatura cuando el 10 de octubre de 2013 hace pública su decisión de otorgar a Alice Munro el más importante galardón de las letras universales. Peter Englund, Secretario Perpetuo de la Academia Sueca, al proclamarla como ganadora del Premio Nobel, califica a la novelista canadiense como “maestra del relato corto contemporáneo”, su “estilo es claro y de gran realismo psicológico”.

La escritora canadiense, ha colocado los cimientos del realismo literario moderno de su país. Mundos corrientes que tras su serenidad esconden tormentas afectivas y sentimentales a punto de desatarse. Sus cuentos destilan la melancolía americana sureña propia de Carson McCullers, Eudora Welty y Raymond Carver, a la vez, que desarrollan una profundidad absolutamente chejoviana. La escritora Elvira Lindo considera a Munro, conocida como la “Chejov de América del Norte”, como la autora que funda la literatura canadiense: antes de aparecer sus relatos sus compatriotas leían preferentemente a los autores estadounidenses.

Cuando Alice Munro publicó su primera colección de cuentos, *Dance of the Happy Shades*, en 1968, la literatura canadiense en lengua inglesa apenas existía. Algunos grandes clásicos –Robert Service, Stephen Leacock, Lucy Maude Montgomery, Mazo de la Roche– habían insinuado la posibilidad de una literatura propia de las excolonias de América del Norte, pero quedaba por establecer una reconocible (y reconocida) identidad literaria. Con perseverante determinación, unos cuantos jóvenes escritores de lengua inglesa se lanzaron a la grandiosa empresa de fundar una literatura nacional. Para ello, tuvieron que hacerse visibles a la sombra de dos gigantes avasalladores: Inglaterra y Estados Unidos. Tan menoscabada estaba su identidad nacional que hasta mediados de los años ochenta cualquier escritor que publicara en inglés debía firmar un contrato en el cual Canadá aparecía como un territorio perteneciente a uno u otro imperio literario.

Gracias a los esfuerzos de un pequeño grupo en el que se integraban: Margaret Atwood, Graeme Gibson, Denis Lee, Alice Munro y pocos más, empezaron a aparecer librerías especializadas en la producción del país, editoriales nacionales como MacLelland & Stewart y Coach House Press, así como la Unión de Escritores Canadienses, fundada en 1973. Margaret Atwood, con el fin de ofrecer una suerte de manual de identidad intelectual a sus conciudadanos y bajo la influencia del gran crítico canadiense Northrop Frye, publicó *Survival* (1972), donde explicaba el mito central de su país –como víctima que intenta sobrevivir en medio de una naturaleza inhóspita– e incluía, además, una guía práctica de lugares donde adquirir libros, películas y discos del Canadá. El grupo consiguió imponer un sistema de becas provinciales y federales, y un apoyo gubernamental a la difusión de obras canadienses.

### ***¿La novela o el cuento?***

Alice Munro es, como afirma Mónica Carbajosa, por voluntad propia y por preferencia estética, una narradora de cuentos cuya dedicación al género es absoluta.



Un género que ha sabido adaptar a la medida de su aliento creativo y en el que ha perseverado con convicción y modesta seguridad.

El escritor y crítico argentino Alberto Manguel define el universo literario de Munro y su aportación a la literatura, cuando expresa: “Las grandes obras de la literatura universal son vastos panoramas globales o minúsculos retratos de la vida cotidiana. Alice Munro es el genio indiscutible de estas últimas, capaz de hacernos ver a través de una banal circunstancia toda la gama de nuestras pasiones y de nuestras pequeñas derrotas y victorias”. En varias ocasiones la escritora ha manifestado su apuesta definitiva por el relato corto. En una entrevista publicada en *Canadian Fiction Magazine* en 1982, Alice Munro declaraba: “Me gusta contemplar la vida de la gente a lo largo de una serie de años sin continuidad. Como si los captara en instantáneas. Y me gusta la forma en que la gente guarda relación o no, con quien era anteriormente... Creo que esa es la razón por la que no me atrae escribir novelas. Porque no veo a la gente en un desarrollo que llega hasta algún lugar. Solo veo a la gente viviendo a fogonazos. Entre un momento y otro”.

A finales de 2012, durante la entrevista concedida al *New Yorker*, para hablar de los relatos incluidos en *Mi vida querida* –muchos de los cuales habían sido publicados en esta mítica revista neoyorquina– la escritora canadiense afirmaba que únicamente en los inicios de su carrera dudó si dedicarse al cuento o a la novela: “durante años pensé que mis relatos solo eran tentativas para escribir la gran novela, pero descubrí que lo mío eran las narraciones breves. Supongo que al final todo mi esfuerzo ha tenido recompensa”.

Sin desbordar el género en el que voluntaria y decididamente compite, Alice Munro, tiene, en opinión de Mónica Carbajosa, el talento de una corredora de fondo. “No es, en ningún caso, una velocista: siendo como es una escritora de cuentos, sus procedimientos son, en muchos casos, similares a los propios de los maratonianos escritores de novela”. “Hay cuentos de Alice Munro que contienen una novela río en la limpia brevedad de un vaso de agua” comentó Antonio Muñoz Molina y Jonathan Franzen afirma, en su libro *Más afuera*, que es la mejor escritora de narrativa, actualmente en activo, de América del Norte.

### ***Influencias en su estilo literario y proyección del mismo***

A la inclinación de Munro por el cuento o relato breve contribuyeron en parte sus circunstancias biográficas (a las que nos hemos referido con anterioridad) que

dificultaban su trabajo como escritora, tarea que debía llevar a cabo “mientras sus hijas dormían la siesta”. Estaba por ello condicionada, de alguna manera, por el denominado *pram in the hall*. (Según frase acuñada por Cyril Connolly: *There is no more sombre enemy of good art than the pram in the hall* –No hay enemigo más sombrío del buen arte que el cochecito en el hall–).

Sin embargo, la contribución decisiva a la apuesta de Alice Munro por el relato breve, se debe a la influencia de narradoras como Eudora Welty, Katherine Anne Porter, Katherine Mansfield, Elizabeth Bishop, Flannery O’Connor o Carson McCullers. Además el cuento tiene una gran vitalidad en la literatura canadiense. Ya en el siglo XX escritores como Faulkner y Scott Fitzgerald vivieron, no de sus novelas sino, de los cuentos que les pagaban espléndidamente las revistas populares. A consolidar este género literario en su país han contribuido notablemente las aportaciones de la propia Nobel y de otras narradoras entre las que cabe citar a Isabella Valancy Crawford, Ethel Wilson, Margaret Laurence, Mavis Gallant, Audrey Thomas, Margaret Atwood Marie-Claire Blais o Sandra Birdsell, entre otras.

El estilo y los temas tratados por la autora de *El Progreso del amor* (1986), *Secretos a voces* (1994) o *Demasiada felicidad* (2009) –que vienen marcados por silencios, y por la presencia de un narrador que explica el sentido de los acontecimientos–, le ha valido el apelativo de la “Chéjov de Canadá”, en referencia al escritor ruso Antón Chéjov.

Cynthia Ozick fue tal vez la primera en compararla con Chéjov: “Ella es nuestro Chéjov y va a sobrevivir a la mayoría de sus contemporáneos”. En cambio Harold Bloom le negó, en principio, la eminencia de Hemingway, Faulkner, Eudora Welty, Flannery O’Connor y John Cheever, y la relegó a los “autores de segundo orden” brillante compañía en la que figuraban Nabokov, Sherwood Anderson, Bernard Malamud, John Updike, Ann Beattie, Raymond Carver y la propia Ozick. Sin embargo, en la introducción de *Cuentos y cuentistas: el canon del cuento*, Bloom, la cita en primer lugar entre “las ausencias lamentables”.

Sus textos, a menudo, constituyen fidedignas representaciones de acontecimientos cotidianos que Munro logra realizar a través de la precisión verbal y ar-



tística que la caracteriza y que, sin perder la sencillez propia de su prosa, ahonda en matices y sutilezas. A semejanza de los relatos de Chéjov, los de Munro se sustentan en el delicado ensamblaje de secuencias que llevan al momento revelador, epifánico donde cada gesto cobra sentido y se ilumina. *Amistad de juventud, Secretos a voces, El amor de una mujer generosa, Odio, amistad, noviazgo, amor, matrimonio, Escapada, Demasiada felicidad, Mi vida querida...*, forman la biografía tan real como imaginaria de una mujer que es y, a la vez, no es su autora: Una vida observada sin piedad desde la niñez hasta la ancianidad cuyas vivencias revelan que en lo ordinario de nuestras vidas está oculto lo extraordinario y lo irremplazable. La historia de la gente sin historia puede ser el más asombroso de los cuentos, el cuento eterno de la humanidad y el privilegio de estar vivos por un instante en el viaje de la nada a las tinieblas.

El universo literario de Munro se mantiene cerca de su propia vida. Sus historias se desarrollan, a menudo, en ciudades pequeñas, donde la lucha por una vida socialmente aceptable, a menudo genera relaciones tensas y conflictos morales, anclados en las diferencias generacionales o de proyectos de vida contradictorios” como expresó el portavoz de la Academia Sueca. Su prosa se caracteriza por la precisión narrativa pero es también sencilla y carece de énfasis retóricos. “Escribe relatos breves con una prosa muy espartana. Es difícil encontrar alguna palabra o frase innecesaria en su obra” afirmaba Peter Englund en su corta entrevista a la prensa canadiense, inmediatamente después de comunicar la decisión del jurado encargado de la selección de los premios Nobel literarios.

A través de la vida simple diaria, describe poderosas emociones complejas e intensas que se agitan bajo la superficie de los vaivenes cotidianos. La marcada atención al detalle, al matiz, siempre significativo y revelador, que anteriormente se ha citado como rasgo más sobresaliente de sus cuentos, es una de las características por la que algunos críticos destacan su tendencia proustiana. Para Marcel Proust, “cualquier detalle es merecedor de atención”. Munro, sin embargo, no exhibe en sus escritos el tan alto grado de simbolismo, propio del novelista, ensayista y crítico parisino.

Sus historias tienen como denominador común su precisa localización geográfica. La mayoría de ellas se desarrollan en ambientes rurales o semirurales (granjas, pueblos o ciudades pequeñas). Canadá es el límite espacial de sus narraciones, la provincia de Ontario y la Columbia Británica son los entornos más recurrentes. La literatura de Alice Munro queda muy cerca de su propia vida. Per-

sonajes e historias se funden con este espacio concreto que no puede ser omitido o intercambiado y que adquiere una entidad literaria cuya dimensión, significado, fidelidad y familiaridad es comparable al sur americano. La autora retrata en sus cuentos las peculiaridades de la región de Ontario y las de sus habitantes, y lo hace porque las conoce tan perfectamente como para poder usarlas. Su terreno biográfico queda convertido así en su terreno literario y esta relación directa y única es la que aparece en su literatura. Es fácil apreciar que los relatos más personales, con mayor carga autobiográfica se suceden en los alrededores del lago Hurón. En general es la zona que se ha dado en conocer como “Munro Tract” –Condado de Munro–, la que da cobijo a sus ficciones y donde se asoma el pasado en el presente como las huellas que en el paisaje imprime el paso de un glaciar.

A través de ese mundo exterior e interior concreto, y sin que este pierda nada de sus peculiaridades, el lector ve el Mundo y la Vida con mayúsculas. No se trata de literatura localista, Munro, al igual que los escritores sureños, sabe atravesar los límites del realismo, sin deformar ni manipular el mundo que presenta, y moverse en lo simbólico, inexplicado o misterioso; cualidad que ha sido subrayada con frecuencia en su literatura. A pesar de la limitación geográfica, todos sus relatos poseen implicaciones y tienen proyección universal, porque de forma minuciosa, sutil y poética, la narradora, es capaz de captar todas las facetas de la naturaleza humana. A semejanza de Flannery O’connor su obra trasciende el ámbito local para crear ficciones de alcance universal.

Munro adopta, también, la idea de O’connor (escritora que muchos enmarcan en el denominado gótico sureño) que afirmaba: “El principio del conocimiento humano se da a través de los sentidos, y el novelista empieza donde empieza la percepción humana. El escritor atrae por medio de los sentidos, y no se puede atraer a los sentidos con abstracciones”. “El mundo del novelista está lleno de materia, que es lo que los novelistas que empiezan están poco dispuestos a tratar. Están interesados principalmente en las ideas abstractas (...) en lugar de todos esos detalles concretos de la vida que hacen real el misterio de nuestra situación en la tierra”.

Munro expresa lo acertado de esas consideraciones a través de su escritura, siempre atenta a los aspectos más físicos y tangibles de los objetos, deteniéndose especialmente en aquellos que forman parte del cotidiano entorno familiar y doméstico. No descuida sin embargo aquellos otros detalles (tangibles o intangibles), incluso los que ponen de manifiesto la psicología y el carácter o los

que traducen emociones o sentimientos complejos. Unas veces procede (nunca prolija, siempre concisa y sutil) deteniéndose en el detalle, puesto que, el detalle puede llegar a convertirse en núcleo del relato, mientras que, en otras ocasiones, es suficiente con una pincelada, inteligente, precisa y rápida.

La calidad de sus cuentos le ha dado sin prisa ni pausa un prestigio universal que se confirma en cada uno de sus libros. Contra la polémica que siempre rodea al Nobel, ella ha sido aceptada con verdadera alegría por los escritores y por los lectores que hoy pueden opinar a través de los medios electrónicos.

En el análisis que hace Mónica Carbajosa, de los rasgos literarios de los cuentos de la narradora canadiense, se refiere a la proyección y alcance de su estilo, así como, a las funciones concretas del mismo, como herramienta estructural de sus relatos: “por un lado, muestra atención para con el lector, que ve, reconoce y recuerda a través de los detalles, y, al tiempo, crea la ilusión de un profundo conocimiento y una temprana familiaridad e intimidad con los personajes y su mundo (el lector cree conocerlos como conoce a los personajes de una novela). Familiaridad que en muchos casos el narrador presupone de antemano (y de la que parte) y que el lector debe ir adquiriendo; la autora ofrece suficientes elementos para que logre superar el reto”.

Los detalles son elementos que ayudan a crear profundidad en las escenas, soportando de esta manera parte de la verticalidad, y, curiosamente, parte también de la horizontalidad de la narración, convirtiéndose, en componentes necesarios en la construcción de los entornos rutinarios del relato estático. Facilitan, así mismo, la asociación y el reordenamiento que, el lector, debe llevar a cabo, puesto que la autora no sigue un recorrido biográfico sino que se concentra en un número reducido de momentos particulares y singulares de la vida, que se presentan hilvanados por un narrador omnisciente o bien por la memoria del personaje autodiegético cuya focalización íntima subraya los detalles. Por otro lado, un detalle, destacado al inicio de la narración, es también el que, en determinadas ocasiones origina y mantiene el suspense del relato, mientras el lector espera y busca la causa de su importancia, no siempre desvelada, por otro lado, en su totalidad: Munro ha demostrado ser también una maestra del suspense.

En los textos de la Nobel canadiense, la horizontalidad y la verticalidad mantienen armoniosa combinación con un perfecto equilibrio entre la profundidad meticulosa y el alcance cronológico. En muchos de sus relatos podemos observar

el transcurrir de largos tramos de vida, sin menoscabo de la abundancia y riqueza de información. La capacidad y destreza de la autora para utilizar sumarios y elipsis temporales unidos a su asombrosa precisión narrativa y lingüística son piezas esenciales de su talante artístico-literario.

A pesar de los saltos temporales, que puntualmente encontramos en sus narraciones, el estilo de Munro es despojado y transparente, de una cadencia lenta que, a menudo, emparenta su prosa con la propia de la novela, más que con el cuento. Los finales abiertos, reverberantes, eluden conclusiones o juicios terminantes. Como un afilado escalpelo, su prosa sabe calar en las complejidades psicológicas y las ambivalencias de la vida. Dentro de esta relativa placidez narrativa, no obstante, se cuelan elementos inquietantes: asesinatos, enfermedades terminales, accidentes, anomalías físicas o mentales, hipocresía moral o corrosivas culpas. Esas sombrías presencias han dado lugar a asociar su nombre con una variante canadiense del subgénero gótico, —el gótico del sur de Ontario— junto al de autores como Margaret Atwood y Robertson Davis.

Muchos de los relatos de Munro se presentan como un episodio de revisión de hechos ocurridos, buscando su sentido a través del recuerdo y a los que la memoria trata de dar el significado. Hay sucesos que, desde el presente, se convierten en singulares, y cuyo significado repetitivo y rutinario viene con el tiempo. De este modo, los relatos siguen fielmente los mecanismos de la memoria o el recuerdo: momentos que se singularizan, situaciones que se entienden, sucesos que no se explican del todo, cuyo significado puede permanecer siempre a media luz.

### ***La mujer protagonista en los textos de la Nobel canadiense***

El mundo literario de Alice Munro está, en gran parte, habitado por protagonistas femeninos (junto a Margaret Atwood conforma la primera línea de la literatura femenina de su país).

No por ello los personajes masculinos, que intervienen en el entramado de sus relatos, reciben una atención menor o se muestran desdibujados o sin peso alguno en el desarrollo de la narración. Buena prueba de ello y como ejemplo: la descripción que, sacada de De Musset, hace Sofía Kovalevski (protagonista de *Demasiada felicidad*, último relato de la colección que lleva idéntico nombre) de Maksim: “Es muy alegre y al mismo tiempo muy sombrío, vecino desagradable,

excelente camarada,/sumamente gracioso y sin embargo afectado,/indignamente ingenuo, mas muy displicente./Terriblemente sincero y tan astuto al mismo tiempo”; o el exacto y profundo retrato de la acentuada personalidad de Lewis, que se lleva a cabo a través de su mujer Nina (en *Consuelo*); o el papel de Grant (*Ver las orejas al lobo*).

En cualquier caso, en cada uno de sus cuentos que, según Silvia Querini (editora de su obra en español), constituye un universo entero, intervienen gentes sencillas, que viven historias sencillas propias de la gente común: una empleada de hotel, un granjero, un ama de casa de Vancouver. Pero que en la magia de la pluma de Munro se muestran como historias de una vida fascinante. La escritora ha comentado en alguna ocasión que no necesita adornar a sus personajes pues “la vida de la gente es suficientemente interesante y cuando se consigue captarla puede resultar monótona, sencilla, increíble e insondable”. “Solo quien no tiene perspicacia para ahondar en el alma humana hace una distinción entre personajes fascinantes, con brillo social, y aquellos que parecen destinados a caer en el olvido”. En opinión de Elvira Lindo, estos últimos son los que pueblan el mundo imaginario de Munro, los que mejor conoce, aquellos entre los que se crió, a los que deseó ser infiel, luchando por poner tierra por medio y estudiar en la universidad, y a los que ha sido tozudamente fiel desde su literatura. La autora revela los intrincados espacios secretos, de sus personajes ofreciendo la visión de un submundo bajo la vida familiar o conyugal estable, mostrando sentimientos y emociones complejos, profundizando en la psicología y el entorno de los personajes sin manipular ni apartarse de la realidad.

Frecuentemente sus protagonistas son mujeres jóvenes casadas o muchachas sin gran altura intelectual, sexualmente activas, con voluntarias ataduras familiares (que no aceptan como único destino y que saben dejar al margen); mujeres atentas también a sus propios intereses, capaces de reconocer sus motivaciones; mujeres realistas y no siempre buenas; mujeres fuertes (no se presentan como víctimas, ni como el sexo débil), decididas, con tesón, y nunca estereotipadas; mujeres que son conscientes de sus ambiciones futuras o perdidas (mujeres a veces brillantes); mujeres que atentas y receptivas a cualquier transformación o posibilidad de cambio, facilitan y aceptan la entrada de lo extraordinario en sus vidas sin arrepentimiento; mujeres deseosas de salir por un momento de su papel cotidiano de madres y esposas, que viven con la esperanza de la recompensa y la autoestima; mujeres que saborean momentos excepcionales, momentos inéditos e inesperados que en muchos casos sostendrán su realidad conyugal (la unión de

lo cotidiano y de lo extraordinario es recurrente en la escritura de Munro). Mujeres deseosas de un porvenir y temerosas del mismo. Mujeres en tránsito, entre una etapa y otra de la vida, que temen que nada cambie o que cambie. Mujeres que se niegan a creer que su destino ya está decidido, que ya no hay más que la realidad cotidiana, que aquello que poseen o disfrutan es todo lo que hay, que en su vida no queda nada que, para ella o para cualquier persona razonable, sea imposible prever.

Mujeres atribuladas por vivencias que van desde abuso sexual y matrimonios agobiantes al amor reprimido y a los estragos del envejecimiento son, con frecuencia, las protagonistas de los relatos de Munro. En el desarrollo de la narración, estas mujeres, reciben un tratamiento especial, partiendo de un perfil aparentemente rutinario, se convierten en seres especiales tras una situación o escena que resulta ser el detonante transformador. Sin embargo, su literatura no es feminista ni aleccionadora, sobre su inequívoco mundo femenino, el crítico, escritor y traductor estadounidense David Homel, introduce un interesante matiz “escribe sobre mujeres y para mujeres, pero no demoniza a los hombres”.

Sus cuentos no exhiben actividad ideológica alguna, ni actitud combativa, aunque en ellos se reflejen las preocupaciones de la autora, no atienden a maquilladas declaraciones ni contienen convenientes discursos, por ello su contenido no debe ser leído e interpretado como denuncia. A través de sus relatos, Munro puede aparecer como moralista por estar convencida de que quien la hace la paga. Pero no es ese el sentido de sus escritos a través de los cuales trata de poner de manifiesto la imposibilidad de romper con nuestro destino a pesar de que luchemos frente al mismo. Se trata, en definitiva, de aceptar que el amor nos hunde y, a la vez, nos reflota; de asumir que sufriremos y haremos daño por igual y entender que en eso se reafirma la naturaleza humana. No cabe duda de que determinadas escenas, reacciones o pasajes pueden encajar con la experiencia cotidiana de algún lector o lectora y otros que el mundo feminista suscribiría con entusiasmo, forman parte de la verdad y la singularidad de un personaje.

La obra de la Nobel canadiense, muestra y revela un profundo conocimiento y comprensión de la naturaleza humana. La sutileza del trazo en los personajes, el argumento como suma de atentas observaciones, el culto al detalle y, sobre todo, la suspensión de una conclusión que nunca acaba, como una voluta de humo que se cierra y luego se desvanece, son rasgos de su estilo y que por otra parte se repiten en el en el universo del cuento norteamericano.



Como se ha mencionado, los protagonistas de la literatura de Munro son gente corriente que se debate entre sus ilusiones y la realidad que las abofetea, entre el dolor y las ganas de sobrevivir, entre la enfermedad y el bienestar envolvente de la costumbre. Hombres y mujeres que, como invitados de una fiesta funeraria, pueblan estos relatos con una humanidad cálida, que se corresponde con la humanidad de la propia autora.

Sus historias, sin ser fielmente autobiográficas, están construidas sobre una realidad emocional trazada a partir de experiencias propias. Experiencias que ha incorporado al repertorio de sus temas y de las que ha sabido sacar partido literario, creando un mundo propio lleno de matices, sentimientos complejos y paradojas morales.



En el centro de la que se considera la única novela de la escritora, *La vida de las mujeres* se encuentra, Del Jordan, una chiquilla que vive con sus padres en el pueblo de Jubilee que narra su día a día, su relación con la familia, los vecinos y los amigos. A través de sus ojos podemos observar el mundo y conocer su interpretación de lo que ve y sus descubrimientos. A pesar de que Munro dice que la novela es “autobiográfica solo en la forma, no en los contenidos”, Del Jordan parece describir un camino de iniciación que reproduce casi literalmente el despertar de una necesidad de captar el mundo, de elaborar un espacio íntimo desde el cual revelarse contra un destino que estaba escrito por otros —el del matrimonio, el de la rutina doméstica y la aceptación de los roles de género—. Del Jordan compadece el carácter apocado del padre, admira el arrojo de la madre (que buscó la liberación vendiendo enciclopedias) y comprende que hay que elegir entre una risueña mediocridad y otras opciones más interesantes y arriesgadas. *La vida de las mujeres*, en realidad, es una colección de relatos disfrazada de novela, el disfraz es un punto de vista narrativo, un hilo conductor que cose una serie de retratos, para, a partir de ellos, concebir una voluntad, aplaudir una toma de conciencia: la de la escritora que descubre su vocación literaria.

En el primer capítulo de la novela, titulado *Flats Road*, se parte de una idealización infantil, como si Tom Sawyer se hubiera trasladado al Canadá rural para hablarnos del vecindario, del tío que se casó por correspondencia y se perdió cuando fue en busca de su esposa que se había fugado. Pero la voz tiene edad, es cronológica, y devora el espacio de nuestros recuerdos: El último capítulo, *El fotógrafo*, es el nacimiento de Munro como escritora, la comunión que pretende celebrar con sus personajes. Funciona como el epílogo a unas memorias de infancia y juventud, que realmente como colofón añade un toque de post-modernidad a esta novela, que es, por otro lado, una obra marcadamente clásica.

El texto transluce el pensamiento de Munro de que lo cotidiano es insondable, que en la vida de cualquiera hay un misterio que se resiste a ser resuelto, que un narrador no es más que la punta del iceberg de una conciencia colectiva, un universo apresado en la omnisciencia subjetiva de la primera persona.

La novela aparece en 1971 cuando Munro, era, todavía, novata en el mundillo literario, pero firmó la declaración de principios por la que Del Jordan se convierte en autora de lo que hemos leído; en creadora última de un pueblo que no parece real, sino verosímil: “Y ninguna lista podía contener lo que yo quería”, escribe al final de la obra, “porque lo que yo quería era hasta el último detalle, cada capa de discurso y pensamiento, cada golpe de luz sobre la corteza o las paredes, cada olor, bache, dolor, grieta, engaño, y, que se mantuviesen fijos, unidos, radiantes, y duraderos”. Es decir una visión de lo humano y, en definitiva, una literatura sabia.

Es fácil encontrar fragmentos disimulados de la biografía de la escritora en muchos de sus relatos. En *Los muebles de la familia* (incluido en la colección “Como la vida misma”), al igual que en la vida real de Munro, existen una escritora becada que huye del entorno rural y una madre enferma de Alzheimer. También se muestra, en otros, la vida hogareña como una prisión y como un refugio, lo cotidiano ensombrecido por el espectro de la muerte: *Poste y viga*, *Puente flotante* y *Consuelo*. En la frase que cierra el magistral relato que da nombre a esta colección, Munro, insiste en que no se nos permite desvelar el misterio de la vida: “No debes preguntar; se nos prohíbe saber qué nos reserva el destino a ti o a mí”. También, en *Ortigas* podemos leer la expresión del pensamiento de uno de sus personajes: “El fin del pozo está en el pozo”. Tal vez se alude a un momento de epifanía que ahora recordamos pero que no supimos reconocer a tiempo. Munro expresa este sentimiento de pérdida y nostalgia con una prosa traslúcida, mezclando la descripción psicológica y la evocación lírica, adueñándose a menudo de la realidad

literal para transformarla en una gema gastada que brilla en el fondo del río. Y esa gema es elocuente, habla por sí misma, no nos necesita para demostrar lo que se siente al verla: “Primero, una conmoción desagradable; luego, el asombro de seguir en movimiento, montada en una corriente de devoción acerada, en calma sobre la superficie de la propia vida, sobreviviendo aunque un dolor húmedo y frío no dejara de embestir el cuerpo”.

Críticos como el escritor Jonathan Franzen, comentan que, a simple vista, puede parecer que Alice Munro cuenta siempre la misma historia, o una historia con los mismos elementos recurrentes.

“Esta es la historia que Munro cuenta una y otra vez: hay una muchacha brillante, sexualmente voraz, que ha crecido en el Ontario rural sin mucho dinero, con una madre enferma o que ha muerto y un padre cuya segunda mujer es problemática. La muchacha, en cuanto puede, escapa de ese entorno gracias a una beca o mediante alguna decidida acción en su propio interés. Se casa joven, se muda a la Columbia Británica, cría a sus hijos y está lejos de ser del todo inocente de la ruptura de su matrimonio. Puede haber tenido éxito como actriz, como escritora o como celebridad televisiva; goza de aventuras románticas. Cuando, inevitablemente, acaba por regresar a Ontario, se encuentra con el paisaje de su juventud inquietantemente alterado. Aunque fue ella la que se marchó del lugar, es un golpe duro para su narcisismo no verse cálidamente recibida de nuevo y comprobar que el mundo de su juventud, con sus anticuadas maneras y costumbres, ahora se dispone a juzgar las opciones modernas por las que se decidió. Al intentar sencillamente sobrevivir como persona independiente y plena, ha incurrido en dolorosas pérdidas y dislocaciones: ha hecho daño”.

Sin embargo, cada vez que Alice Munro vuelve sobre esta historia encuentra más y más. Ninguno de los relatos se agota. Y lo sorprendente, tal y como afirma Jonathan Franzen, es lo que la autora puede hacer con poco más que su pequeña historia; la complejidad de las cosas dentro de las cosas parece ser algo sin fin. Cada situación es diferente y compleja, cada una presenta un mundo imaginario propio y distinto, con variedad de tiempos, perspectivas y procedimientos; cada relato explora una experiencia singular y amplía nuestro conocimiento de la naturaleza humana. Imposible, por lo tanto, tratar de resumir un relato sin desvirtuarlo, todo en la narración es significativo, y una temeridad pretenderlo con una o varias colecciones de cuentos. Cualquier intento está de antemano abocado al fracaso. No hay más que leerla. Y al hacerlo, el lector podrá comprobar cómo va llegando al

final del relato y todavía no está seguro del significado de la historia, ni de cuál es la línea central (procedimiento que, como ya hemos dicho, mantiene el suspense). Es siempre, afirma Jonathan Franzen, en las dos últimas páginas cuando enciende todas las luces. Pero lo cierto es que esas luces no siempre lo iluminan todo.

Junto con el destino, la preocupación por el paso del tiempo es otro tema recurrente en la obra de Munro, un tiempo siempre personal y vivido que se enreda con el cronológico. Entre las mujeres, protagonistas de sus relatos, hay niñas y adolescentes con todas sus esperanzas depositadas en el futuro (dominado, en la mayor parte de los casos, por la figura del hombre y el matrimonio), y esposas voluntariamente atrapadas en ese porvenir único. Sin embargo, Munro explora, en muchas de sus historias, los cambios inesperados que se pueden experimentar en la vida (*Odio, amistad, noviazgo, amor, matrimonio; Ortigas; Yakarta*). El destino se relaciona así con el deseo, con el temor, con la lucha, con lo imprevisible y con el azar. En ocasiones, los cambios están plasmados en el mero deseo, o constituyen una posibilidad y en cuanto al tiempo cronológico pueden durar tan solo unas horas e incluso un instante aunque se recuerden toda la vida. Sin embargo, otras veces, son una realidad duradera: mujeres que se encuentran, por azar, ante un nuevo destino (*Odio, amistad, noviazgo, amor, matrimonio*), o que abandonan el hogar familiar o el matrimonio, que huyen de la pobreza o que renuncian a la estabilidad social y a la solidez económica y cambian a otra vida simplemente mediocre (*Ortigas*).

“Escapada” (*Runaway*) es el título de una de sus colecciones de relatos con mujeres como protagonistas que llevan a cabo escapadas o huidas que en casi todos los casos suponen un cambio de lugar, de escenario. Tras estas escapadas (a veces huyen de sí mismas) no siempre se encuentra la satisfacción o la felicidad, ni el verdadero destino. Y en ocasiones se regresa de nuevo al lugar y se lleva a cabo un análisis, ni benévolo ni sentimental, un enfrentamiento de diversos tiempos (presentes y pasados) que se van yuxtaponiendo desde la íntima memoria narradora de la protagonista o desde una, cada vez más dominada, omnisciencia.

En los relatos incluidos en “Escapada”, Munro, no solo describe vidas rotas, con sueños imposibles. También rinde homenaje a todas las mujeres que se arrepienten de haberse resignado a soportar el dolor del confinamiento cotidiano, con su natural tendencia a las epifanías (características que podrían emparentarla con la Anne Tyler de ‘El matrimonio amateur’). Es la brusquedad del destino –con accidentes y cambios– la que trunca las historias de sus heroínas. En esta colección

utiliza frecuentemente el suspense como elemento narrativo en su obra. Lejos de banalizar sus cuentos, el suspense les otorga una fuerza que contrasta con la modestia de su estilo, siempre fiel al detalle y fina en los diálogos.

*Desencuentro* es uno de los espléndidos relatos de “Escapada”. Cuenta la distancia que existe entre el deseo y la decepción, trecho a menudo creado por las perversas maniobras del azar. Esa distancia también es la que separa a las palabras de su auténtico significado, o lo que es lo mismo, a las apariencias de las emociones que ocultan. Todos los años, durante cinco, Robin viaja a Stratford en verano, para ir al teatro. Un día pierde el bolso, pero encuentra a un hombre que pasea a su perro y que le presta dinero para tomar el tren de vuelta a casa, aunque antes la invita a cenar. Se llama Danilo, es un relojero yugoslavo. Robin se enamora de él y espera con ansia durante un año para volver a verlo. Danilo solo le pide que se ponga el mismo vestido verde. Cuando, pasado ese tiempo, Robin va a su relojería, él la mira con desprecio y, sin más explicaciones, le cierra la puerta. Cuarenta años después, la protagonista del relato averiguará por qué su recato de jovencita provinciana la alejó de algo que podría haber cambiado su vida.

En “Escapada”, Munro, demuestra, una vez más, hasta qué punto los relatos cortos pueden ser capítulos de una novela donde las elipsis (que maneja con maestría), pertenecen a una elusiva y sugerente estrategia narrativa: no en vano, *Destino*, *Pronto* y *Silencio* comparten la misma protagonista, Juliet, y resumen a la perfección el sentimiento de abrumador desconcierto que sufrimos las personas, debatiéndonos entre la metamorfosis y el miedo al cambio. Sentimiento que describe con la precisión de alguien que no se reprocha nada, que ha asumido sus propias mutaciones.

En su obra literaria, Munro, utiliza todas sus experiencias vitales. En el entorno rural, al que pertenece la autora, conoce toda una manera de vivir y de pensar por su estrecho contacto con la naturaleza, todavía no amaestrada en su totalidad, se familiariza con la forma de vida de las granjas, conoce su aislamiento y atraviesa los períodos de escasez. Esas experiencias se vislumbran en relatos como *Miles City, Montana*; *Ortigas* o *Los muebles de la familia*, en los que habla de granjas, prados, árboles (cedros, olmos, arces, espinos...), ríos cambiantes, pozas, establos, graneros, pozos cavados en la tierra para la provisión de agua, animales enjaulados (zorros plateados y armiños), de lugares donde se colgaban los cuerpos muertos de los caballos antes de molerlos para hacer alimento, de suelos teñidos

de sangre, de cobertizos delimitados por muros de mallas cubiertas de moscas, de trayectos al pueblo vecino para comprar provisiones, de las idas y venidas a la escuela rural, de viajes a la ciudad. Pero donde esas experiencias se hacen evidentes es en los relatos de mayor contenido autobiográfico como en “La vista desde Castle Rock” donde la ficción parte de la historia familiar para convertirse en un método de trabajo, en forma de creación.

Los relatos, recogidos en “La vista desde Castle Rock”, nacen del interés por recuperar la historia de una rama familiar. Aunque, como la escritora cuenta en el prólogo, los datos reales necesitaron de la armadura de la ficción para tomar forma. La autenticidad, y no la “verdad”, era el objetivo buscado. La primera parte del libro, dedicada a los lejanos parientes escoceses que emigraron a América, es seca y dura como sin duda lo fue la vida de esos personajes. Munro se aleja, en parte, del tono cálido al que tiene acostumbrado al lector para adoptar un tono estricto, casi limitado a aportar nombres: de personas, sitios, sucesos, y duras circunstancias. La segunda, situada ya en la época en que ella había nacido, se vuelve fascinante. El libro cobra vida al mostrar, casi sin querer, cómo la historia familiar cristaliza en cada individuo. La mirada de Munro pone en evidencia miserias y desgracias allí donde las hubo, pero renuncia a dictar juicio y, cuando posa esa mirada en su propia vida, es aún más implacable. El recuerdo se vuelve más feliz a medida que se acerca al presente, insinuando tal vez un sentido de la historia, del progreso, una inevitable mejora de las condiciones de vida. Pero en ningún momento se desprende del pasado: una ley más biológica que literaria que indica que todo aquello del pasado que somos capaces de nombrar habita en nosotros, incluso los muertos. Munro, termina afirmando que ciertos objetos le permiten “descubrir el tremendo latido de mi propia sangre”. Gracias a su rigurosa escritura, la experiencia se vuelve compartible.

Relatos basados en hechos reales, a semejanza de los que recoge en “La vista desde Castle Rock,” son varios de los que conforman la colección que lleva por título “Demasiada felicidad” (*massa felicitat*) donde su prosa vuelve a recordarnos al autor ruso Chéjov. Sergi Sánchez escritor y crítico comenta: “Si en *Tres rosas amarillas* Raymond Carver se conformaba con observar la agonía de Chéjov para componer una sentida elegía, Munro concentra en 60 páginas la atribulada vida de Sofia Kovalevski, novelista y matemática rusa, para ensayar una meditación sobre su personaje favorito, esa mujer que se debate entre la sumisión a las normas viriles y la reivindicación de su lugar en el universo.

A diferencia de lo que es usual en los relatos de Munro (emotivos y con un detallismo tranquilo), los que se integran en “Demasiada felicidad” encierran episodios violentos, (envenenamientos, robos, automutilaciones, suicidios, infanticidios), sin embargo, la denominada Chéjov canadiense, trata la violencia como necesaria y natural; como si lo más atroz fuese inevitable y lo inevitable, normal (rasgos destacados en *Dimensiones*).

Con su estilo habitual, en los relatos incluidos en “Demasiada felicidad”, Munro explora el eterno femenino sin hacer concesiones de género. En varios de ellos las mujeres salen mal paradas: a menudo, no saben calibrar la distancia entre lo que esperan y lo que van a recibir de la vida; otras veces, describen con cierta indiferencia hechos escabrosos que escandalizarían a muchos. Frecuentemente se presentan como más inteligentes, apasionadas y peligrosas que los hombres, incluso cuando la narración se realiza desde un punto de vista masculino como en *Cara* donde la mujer aparece como la oportunidad perdida.

La más reciente colección de cuentos de Alice Munro es la que lleva por título: “Mi vida querida” (2013) (título original: *Dear Life*, Toronto, 2012). Los catorce relatos incluidos en este libro están cargados de humanidad; en todos ellos, fluye el ingenio y el dominio de la literatura que caracteriza a la autora. Sus personajes superan la ficción y se adentran en la realidad norteamericana, viven, sufren y mueren con naturalidad, sin emociones intensas, aspavientos ni complejas artimañas. La ingeniosa construcción unida a un poderoso dominio del lenguaje y el particular alejamiento de los sentimientos de sus personajes completan un formato bastante constante que, no por repetido, pierde su interés ni deja de mostrarse nuevo para triunfar una vez más. El lector nunca tiene la impresión de leer el mismo cuento o de estar con los mismos personajes.

Mujeres insatisfechas con su matrimonio, obligadas por los esquemas del sistema patriarcal a convertirse en amas de casa perfectas e infelices, son sus personajes femeninos, así como los masculinos, prisioneros de su rigidez emocional. A través de los relatos se pueden apreciar reminiscencias de su biografía como madre y esposa, primero abnegada y liberada más tarde. Es en la tersura de su prosa y en el amor por el detalle donde percibimos los ecos de la literatura memorialística.

Para introducir el cuarteto *Finale* de “Mi vida querida”, Munro aclara: “Las cuatro últimas piezas de este libro no son exactamente cuentos. Forman una

unidad distinta, que es autobiográfica de sentimiento aunque a veces no llegue a serlo del todo. Creo que es lo primero y lo último –y lo más íntimo– de cuanto tengo que decir sobre mi propia vida”. La autora, se basa en textos, cartas y anécdotas de su familia entre los cuales elige un hilo, una escena, un comentario para construir, con su inventiva, la historia que lo ocasiona, creando imágenes, conversaciones y personajes que la completan.

En el último de estos cuatro relatos autobiográficos, *Vida querida*, Munro se refiere a aquellas cosas que quizá nunca hubiéramos de sentir o realizar, porque parecen imperdonables pero que, en definitiva, siempre perdonamos. “Solemos decir que hay cosas que no se pueden perdonar, o que nunca podremos perdonarnos. Y sin embargo lo hacemos a todas horas”.

El dominio de los recursos narrativos que posee Alice Munro, le permite crear estructuras complejas con giros imprevistos y profundidades sorprendentes. Sin entrar directamente en el relato mantiene el suspense y la tensión a través del mismo, avanzando en profundidad, con armonía y proporción, combinando planos, tiempos y espacios; atravesando y trascendiendo la realidad visible y creando complejos personajes y situaciones singulares.

Parece que los cuentos de Munro no acaben: no es que sus finales sean abiertos sino que sus protagonistas siguen su camino, convirtiéndose lentamente en un punto que se funde con el horizonte. Casi nunca estos finales tienden a ser sorpresivos o conclusivos. Como Borges, Munro, también, prefiere la preparación de una expectativa a la de un asombro. Maneja con tanta maestría la autodiégesis como la omnisciencia (para penetrar y profundizar en amplia variedad de personajes), Tiene extraordinaria habilidad para la utilización de estos recursos lo que le permite ocultar o subrayar puntos de vista, iluminar momentos o significados, dosificar la información, mantener el suspense o el misterio, e impedir que el lector se acomode en una focalización, en un tiempo preciso o en un espacio o situación. La constancia y consistencia de la alta calidad literaria de la Nobel canadiense solo es posible por su gran dominio del género narrativo.

El día 10 de diciembre coincidiendo con el aniversario del fallecimiento de Alfred Nobel, fundador de los premios que llevan su apellido, el rey Carlos Gustavo de Suecia hizo entrega, en Estocolmo, de los Premios Nobel. A la ceremonia, que se celebró en la Sala de Conciertos de Estocolmo, no pudo asistir la laureada en Literatura, Alice Munro, la más popular entre las personas galardonadas en la



edición de 2013. Su delicada salud no ha permitido a la escritora de 82 años, viajar desde Canadá, donde reside, a Suecia. Allí estuvo representada por su hija, la pintora Jenny Munro.

En sustitución del tradicional discurso que el ganador del premio suele pronunciar en los días previos a la ceremonia, Alice Munro, agradeció el galardón mediante una entrevista que concedió a la Academia Sueca, que fue grabada en su casa y emitida en la Academia. “Nada en el mundo podría hacerme más feliz”, afirmaba la escritora que en la entrevista se definía como una mujer “desesperadamente absorta” por la escritura, pero también condicionada por la vida familiar” (...) “La gente a mi alrededor no sabía que quería ser escritora. No quería que lo descubrieran, les habría parecido ridículo”. También mostraba su incredulidad ante la noticia: “¡Era una mujer! Sé que algunas lo han ganado, pero nunca lo pensé, porque la mayoría subestimamos nuestra obra”, afirmó la escritora canadiense.

Por su parte la Academia reincidió en el elogio del universo literario de Munro: “Los mayores acontecimientos ocurren dentro de sus personajes. El mayor dolor no se expresa. Le interesa lo silencioso y lo silenciado, las personas que escogen no escoger, los que viven en los márgenes, los que abandonan y los que pierden”, sostuvo ayer el secretario de la Academia Sueca para justificar el premio. Peter Englund afirmó en su discurso: “Durante años los científicos prominentes han recibido sus recompensas aquí, por resolver algunos de los grandes enigmas del universo, pero Munro casi ha resuelto el mayor misterio de todos: el del corazón humano y sus caprichos”.

## ■ BIBLIOGRAFÍA

### ***Obras de Alice Munro traducidas y publicadas en España***

*El progreso del amor*. Versión castellana de Flora Casas. Madrid. Debate, 1990.  
Título original: *The Progress of Love*.

*Amistad de juventud*. Traducción de Esperanza Pérez Moreno. Barcelona. Versal, 1991. Título original: *Friend of My Youth*.

*Secretos a voces*. Versión castellana de Flora Casas. Madrid. Debate, 1996. Título original: Open Secrets.

*El amor de una mujer generosa*. Traducción de Javier Alfaya Bula, José Hamad, Javier Alfaya McShane. Madrid. Siglo XXI, 2002. Título original: The Love of a Good Woman.

*Odio, amistad, noviazgo, amor, matrimonio*. Traducción de Marcelo Cohen. Barcelona. RBA, 2003. Título original: Hateship, Friendship, Courtship, Loveship, Marriage.

*Escapada*. Traducción de Carmen Aguilar. Barcelona: RBA, 2005. Título original: Runaway.

*La vista desde Castle Rock*. Traducción de Isabel Ferrer y Carlos Milla. Barcelona. RBA, 2008. Título original: The View from Castle Rock.

*Demasiada felicidad*. Traducción de Flora Casas. Barcelona. Lumen, 2010. Título original: Too Much Happiness.

*La vida de las mujeres*. Traducción de Aurora Echevarría. Barcelona. Lumen, 2011. Título original: Lives of Girls and Women.

*Mi vida querida*. Traducción de Eugenia Vázquez Nacarino. Barcelona. Lumen, 2013. Título original: Dear Life.

### ***Otras fuentes consultadas***

Bloom, H. (2009). Cuentos y Cuentistas. El canon del cuento. Madrid. Páginas de Espuma.

Bloom's Literary Alice Munro (2009). Edited and with an introduction by Harold Bloom. New York Criticism.

Carbajosa, M. (2010). Alice Munro. El dominio del cuento. Espéculo. Revista de estudios literarios. Universidad Complutense de Madrid.

- Connolly, C. (1938). *Enemigos de la promesa y Cyril Connolly: Obra Selecta* (2005) Trad. de M. Aguilar, M. Bach y J. Fibla. Editorial Lumen. Barcelona.
- Duncan, Isla (2011). *Alice Munro's Narrative Art*. Palgrave Macmillan. New York.
- Franzen, J. (2004). Runaway: Alice's Wonderland. Sunday Book Review. The New York Times, 14-11.
- Gallant, Mavis (2009). *Los cuentos*, Lumen. Barcelona.
- Hancock, G. (1982). An Interview with Alice Munro. Canadian Fiction Magazine, 43, 74-114.
- Hernández Lerena, M.J. (1996). Posibilidades expresivas de un género: Los relatos breves de Alice Munro desde la perspectiva de la manipulación del tiempo. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja.
- Hernández Lerena, M.J. (1998). Exploración de un género literario: Los relatos breves de Alice Munro. Editado por el Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Rioja. Logroño.
- Libedinsky, J. (2009). Munro con las mujeres. Entrevista en La Vanguardia, 27-5-2009, p. 32
- Mazur, C. (2007). *Alice Munro. An Annotated Bibliography of Works and Criticism* compiled by Carol Mazur. Edited by Cathy Moulder. Lanham Md: Scarecrow Press.
- Munro, S. (2001). *Lives of Mothers & Daughters: Growing Up With Alice Munro*. McClelland & Stewart. Toronto.
- Nabokov, V. Curso de literatura rusa. op. cit. pp. 441-442.
- Nabokov, V. Curso de literatura rusa. op. cit. pp. 446-447.
- O'Connor, F. (2007). El escritor regional. En *Misterios y Maneras*. Madrid. Ediciones Encuentro, pp. 66-75.

Piglia, R. (2000). Tesis sobre el cuento. Los dos hilos. Análisis de las dos historias. En Formas Breves. Anagrama. Barcelona.

Skagert, U. (2008). Possibility-Space and Its Imaginative Variations in Alice Munro's Short Stories.: Stockholm University. Stockholm.

[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/literature/laureates/2013](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/2013)

[http://cultura.elpais.com/autor/alberto\\_manguel/a/](http://cultura.elpais.com/autor/alberto_manguel/a/)

[http://cultura.elpais.com/cultura/2013/10/10/actualidad/1381433664\\_329498.htm](http://cultura.elpais.com/cultura/2013/10/10/actualidad/1381433664_329498.htm)

[http://cultura.elpais.com/cultura/2013/12/08/actualidad/1386458235\\_213543.html](http://cultura.elpais.com/cultura/2013/12/08/actualidad/1386458235_213543.html)

<http://www.elperiodico.com/es/noticias/ocio-y-cultura/seis-criticas-libros-alice-munro-2736749>

<http://www.lavanguardia.com/vida/20131210/54395349062/estocolmo-acoge-entrega-premios-nobel.html#ixzz2pF2sQ04K>

<http://www.revistafabula.com/35/documents/aMunro35.pdf>

<http://www.unirioja.es/apnoticias/servlet/Noticias>.



# **Premio Nobel de la Paz 2013**

## **ORGANIZACIÓN PARA LA PROHIBICIÓN DE LAS ARMAS QUÍMICAS**

Jacinto Torres Mulas



El viernes 11 de octubre de 2013 el Comité Nobel Noruego hacía público el anuncio de que el Premio Nobel de ese año se concedía a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas por sus esfuerzos para la eliminación de las armas químicas, mediante un comunicado en el que, en primer lugar, se hace mención a la Convención de Ginebra de 1925 que prohibía el uso de armas químicas, pero no su producción o almacenamiento, cuya prohibición solo sería llevada a la práctica más de setenta años después, cuando en 1997 entró en vigor una nueva Convención sobre Armas Químicas, discutida y negociada entre 1992 y 1993, por la que expresamente quedaban prohibidos el desarrollo, la producción, el almacenamiento y el uso de dichas armas.

Se pone de relieve el énfasis que los sucesivos tratados y acuerdos han puesto en la necesidad de erradicar las armas químicas y, en particular, el trabajo encomendado a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ) para inspeccionar el cumplimiento de los acuerdos y procurar la destrucción de los

arsenales existentes, haciendo hincapié en los recientes acontecimientos en Siria, donde este tipo de armamento ha sido empleado.

Finalmente, el comunicado recuerda el especial interés que tuvo Alfred Nobel en favor del desarme, así como la insistente actitud del Comité Nobel Noruego, claramente puesta de manifiesto en muchos de los premios que ha otorgado, en pro de la eliminación del armamento nuclear, actitud que con la elección de este año se hace extensiva también a la abolición del armamento químico.

## ■ Motivación del Premio Nobel de la Paz 2013

Como es costumbre, el día 10 de diciembre, fecha conmemorativa del fallecimiento de Alfred Nobel, se celebró el acto formal de concesión del Premio con una solemne ceremonia en el gran salón del Ayuntamiento de Oslo. En esta ocasión el director general de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas recibía del presidente del Comité Noruego del Nobel, Thorbjørn Jagland, la correspondiente medalla y el diploma acreditativo.

En su discurso de presentación Jagland se muestra especialmente optimista respecto de la consecución de los objetivos propuestos por la Convención sobre Armas Químicas de 1997<sup>1</sup>. Tras animar a los Estados que aún no han firmado la Convención para que se adhieran a ella, señala el importante papel desempeñado por la OPAQ en su actuación discreta y constante para la erradicación de este tipo de armamento. En su alocución, cuyas ideas básicas glosamos seguidamente, se reconoce el fracaso del Protocolo de Ginebra de 1925 a la hora de impedir el uso de las armas químicas, como quedó patente así en la Segunda Guerra Mundial como en diversos conflictos bélicos posteriores.

Era, pues, patente la necesidad de un acuerdo más integral, que se materializó en la nueva Convención sobre las Armas Químicas elaborada entre 1992 y 1993 cuyas conclusiones prohibiendo la producción, almacenamiento y empleo de esas armas cobraron vigencia en 1997. Para la supervisión de su cumplimiento se estableció la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas; su objetivo, más allá del mero control armamentístico, apunta a su efectiva eliminación, siendo

---

<sup>1</sup> [http://nobelpeaceprize.org/en\\_GB/laureates/laureates-2013/presentation-2013/](http://nobelpeaceprize.org/en_GB/laureates/laureates-2013/presentation-2013/) [Consultado el 14 de enero de 2014] © The Nobel Foundation, Stockholm, 2013.

esto un verdadero hito pues nunca antes un arma ya integrada en los ejércitos y planes de distintos estados había sido objeto de prohibición total y propuesta su total erradicación.

Todos los países firmantes de la Convención quedan obligados a presentar un estudio completo de toda clase de armamento químico que posean, así como de los equipamientos para la producción de este tipo de armas. Además, y esto es lo más importante, se comprometen a destruir la totalidad de sus arsenales químicos y de sus medios de producción, aceptando la intervención de inspectores internacionales para comprobar que tal destrucción ha sido efectivamente llevada a cabo, lo que ha de hacerse en cooperación con la OPAQ.

Actualmente son miembros de la OPAQ ciento noventa países, representando el noventa y ocho por ciento de la población y el territorio en el mundo, aunque la cantidad de las armas químicas que han sido eliminados se reduce al ochenta por ciento. Y es que no todo han sido éxitos, pues faltan por adherirse varios países. Además, la fecha límite para la destrucción total del armamento químico declarado, prevista para en abril de 2012, ha sido largamente rebasada sin haber logrado plenamente su objetivo. Se estima que en torno a un veinte por ciento de los arsenales no han sido destruidos, lo cual resulta particularmente inaceptable habida cuenta que se trata, principalmente, de arsenales estadounidenses y rusos, tan exigentes para los demás como incapaces ellos mismos de cumplir sus propios compromisos.

La eliminación de las armas químicas de la superficie de la Tierra es ciertamente un propósito muy ambicioso, y desde luego no podemos esperar conseguirlo de un día para otro. Además, y pese al compromiso manifestado por los países firmantes de la Convención, los progresos de la investigación y la industria químicas permiten suponer la aparición de nuevas sustancias, no definidas actualmente en la Convención, con potenciales usos bélicos de alcance impredecible y terribles consecuencias; un reto de proporciones descomunales al que la OPAQ habrá de enfrentarse.

Pero no por ello hay que subestimar la política del “paso a paso”. El trabajo efectuado por la OPAQ en el seguimiento de la Convención sobre Armas Químicas ha mostrado cómo a base de pequeños pasos se pueden obtener grandes resultados. Un ejemplo muy claro lo tenemos en la situación actual en el Oriente Medio y el Golfo Pérsico, que ofrece una importante perspectiva para la Convención de



Armas Químicas y la existencia de la OPAQ. Un marco multilateral es, una vez más, la plataforma adecuada para tratar de resolver la crisis actual sin una escalada bélica. Hemos estado al borde de un nuevo enfrentamiento militar en el Medio Oriente con intervención de distintas potencias y que hubiera podido tener nefastos resultados. El haber conseguido evitarlo puede allanar el camino para las negociaciones tendentes a una solución al conflicto en Siria.

En el momento más tenso de la crisis, la propuesta de la Federación Rusa para que el problema del uso de armas químicas en Siria se condujese a través de la Convención sobre las Armas Químicas y la OPAQ se reveló como una vía de acción muy útil, refrendada por la respuesta favorable del presidente Obama, que sirvió para desactivar una intervención militar que probablemente solo hubiera servido para echar más leña al fuego. Podemos creer que ese punto de distensión ha contribuido a un nuevo clima en lo que concierne al programa nuclear iraní. De hecho, la posterior intervención del presidente de Irán, Hasan Rohani, en la Asamblea General de la ONU ofreció un mensaje más positivo de lo que hasta entonces habíamos escuchado. Poco después se produjo una conversación telefónica directa entre los presidentes de Irán y los Estados Unidos, un hecho insólito que no se producía desde hace más de treinta años. A día de hoy, el programa nuclear de Irán ha sido objeto de un importante acuerdo para limitarlo a usos civiles, y aunque de momento tiene un carácter solo preliminar, paso a paso se sigue avanzando. Lograr una solución política a los enfrentamientos en Siria y una solución pacífica al programa de armas nucleares de Irán son metas difíciles de alcanzar. Pero la evolución de los acontecimientos es ahora más prometedora de lo que ha venido siendo durante un largo tiempo.

Supone un gran paso adelante que Siria haya presentado finalmente su adhesión a la OPAQ, con el inherente compromiso de destrucción de todas sus armas químicas. Por supuesto, es un gran desafío para la organización conseguir la destrucción de todo ese armamento en las actuales condiciones de guerra y entre el caos reinante en el país, y en mucho menos tiempo del que normalmente se emplea, haciendo muy difícil el decisivo trabajo de los inspectores de la OPAQ.

A través de los años las líneas maestras de los trabajos del Comité Noruego del Nobel se han orientado en gran parte a la lucha por el desarme, pero todavía más a la lucha por la cooperación internacional, ya sea a través de la Sociedad de Naciones o de las Naciones Unidas, y es obvio que la razón de ser de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas tiene fundamento en ambos propósi-

tos. El acuerdo al que llegaron en 2010 los presidentes Barack Obama y Dimitri Medvedev en relación con las armas nucleares estratégicas fue un hecho de suma importancia, pues la alternativa no era otra sino una nueva carrera de armamento nuclear. Un hecho tal encajaba con una comprensión actual de la demanda de Alfred Nobel para la reducción de los ejércitos permanentes, al igual que ocurre con la Convención sobre las Armas Químicas y el trabajo de la OPAQ, actuando en pro del desarme. Más aún: mientras que las negociaciones relativas al armamento nuclear han tomado como punto de partida el derecho exclusivo a tener armas nucleares reivindicado por las potencias que de hecho las poseen, la Convención sobre Armas Químicas rechaza un derecho tal. Se trata de un acuerdo de desarme real, no de mera limitación, mediante el cual todos los países, todos por igual, deben eliminar sus armas químicas. Y esa debe ser también la perspectiva cuando se trata de armas nucleares, tal como se acordó en la reunión del Consejo de Seguridad de la ONU convocada por el presidente Obama en 2009. También las armas nucleares deben desaparecer de la faz de la Tierra.

El logro de la paz es una cuestión difícil, como se ve en los debates relativos al Premio Nobel de la Paz. Muchos son partidarios de que el premio debería otorgarse siempre a individuos con una poderosa personalidad y principios firmes. Necesitamos ese tipo de modelos a seguir para llevar esperanzas a un mundo complejo y amenazador. Con frecuencia el premio ha ido a tales individuos sobresalientes, muchos de los cuales han movido al mundo en la dirección correcta. Pero la paz no se produce solo por la acción de individuos idealistas; también son necesarios políticos prácticos, capaces de llevar al mundo fuera de confrontaciones de límites estrechos. Y también necesitamos instituciones, como las globales en el marco de las Naciones Unidas. Es la interacción entre todos ellos lo que puede construir la paz. En consecuencia, el Premio Nobel de la Paz ha atendido a todas esas direcciones.

Muchos se preguntan, sobre todo en la propia Siria, si realmente existe alguna diferencia entre ser muerto por armas químicas o convencionales; para aquellos que son afectados, la respuesta es no, aunque nadie debería subestimar el sufrimiento que las armas químicas provocan a sus víctimas. En el camino hacia un mundo más pacífico, es importante combatir en primer lugar las armas más monstruosas, las armas de destrucción masiva. Hemos prohibido las armas biológicas. Por su parte, el Comité Noruego del Nobel ha concedido sus premios en numerosas ocasiones a la lucha contra las armas nucleares. Hoy la atención se centra en las armas químicas y en los avances conseguidos, honrando así a la Convención de 1993 y a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas.

## ■ La singularidad de un Premio

Los premios Nobel, como es bien sabido, tienen su origen en la disposición testamentaria del ingeniero y empresario sueco Alfred Bernhard Nobel. Y, muy en particular, el premio de la Paz encuentra sus razones en su propia biografía. Había nacido en Estocolmo el 21 de octubre de 1833 en el seno de una familia acomodada que en 1842 se trasladó a la ciudad rusa de San Petersburgo, donde el joven Nobel, que a la sazón tenía nueve años, comenzó sus estudios regulares. En 1850 viajó a París y más tarde a Estados Unidos, países en los que perfeccionó sus conocimientos tecnológicos. A su regreso a San Petersburgo, trabajó hasta 1859 en la fábrica de su padre dedicada principalmente a la química y la minería, regresando luego a Suecia donde organizó varias plantas de explosivos, basadas principalmente en la manufactura de la nitroglicerina líquida, una sustancia detonante descubierta en 1846 por el italiano Ascanio Sobrero. Con la colaboración de sus hermanos Ludwig y Robert perfeccionó los procesos de destilación del petróleo y participó en la explotación de los yacimientos rusos de Bakú.

El manejo de la nitroglicerina, necesario para sus actividades industriales, resultaba extremadamente peligroso y en 1864 una explosión causó la muerte de su hermano menor y otras personas. A partir de ese momento dedicó Alfred Nobel sus esfuerzos a desarrollar un método seguro para manipular la nitroglicerina, objetivo que alcanzó en 1867 mezclándola con un material poroso absorbente, el *kieselguhr*, y consiguiendo así reducir la volatilidad de la nitroglicerina y hacerla menos peligrosa y más manejable, el resultado fue un polvo que podía ser percutido e incluso quemado al aire libre sin riesgo de explosión, que solo podía producirse mediante detonadores eléctricos o químicos. Patentó el nuevo compuesto con el nombre de dinamita, una sustancia que a partir de entonces fue universalmente utilizada en trabajos de ingeniería y minería, pero también, y muy acentuadamente, en la industria armamentística, actividad a la que Alfred Nobel orientó con gran éxito varias de sus florecientes empresas, como la muy conocida y reputada productora de acero Bofors, de la que fue dueño y principal accionista desde 1894 hasta su muerte, ocurrida en su residencia italiana de San Remo, el 10 de diciembre de 1896, a la edad de 63 años.

Las armas Bofors han estado presentes y han llevado la muerte y la destrucción a todos y cada uno de los conflictos bélicos más relevantes de la humanidad, al mismo tiempo en uno y otro bando, durante más de un siglo y hasta nuestros días, habiendo también protagonizado sonados escándalos de corrupción que afectan a

gobiernos de diversos países. En la actualidad la empresa es propiedad del reino de Suecia (15%) y de otros inversionistas estatales (85%), siendo su cotización en bolsa uno de los grandes referentes de la economía sueca.

Resulta prácticamente imposible encontrar una referencia biográfica de Alfred Nobel que no haga alusión al presunto sentimiento de culpa por su responsabilidad como empresario enriquecido a través de una industria que, si inicialmente tenía su principal mercado en la minería, pronto se orientó a la producción de material bélico, cuyos efectos han sido y siguen siendo devastadores. Desde luego, motivos sobrados tenía para albergar ese remordimiento, algo que no constituye un caso único, pues basta recordar al principal artífice de la bomba atómica, Robert Oppenheimer, y su zozobra vital al comprobar tras el bombardeo de Hiroshima y Nagasaki el terrorífico poder destructivo de las armas creadas por él, lo que le llevó a una activa militancia en contra de la carrera armamentista nuclear.

Curiosamente, lo vemos de nuevo en nuestros días: el periódico moscovita *Izvestia* mostraba en su edición del lunes 13 de enero de 2014 la carta enviada al patriarca de la Iglesia Ortodoxa Rusa por Mijail Kalashnikov, fallecido el pasado 13 de diciembre y diseñador del fusil AK-47, el rifle de asalto más popular y mortífero de la historia, en la cual manifiesta el “insoportable dolor espiritual” de su alma atormentada por las innumerables muertes causadas por su arma, preguntándose angustiado por su propia responsabilidad<sup>2</sup>. No menos interesante es la tranquilizadora respuesta, recogida en la misma noticia, del secretario de prensa del patriarca ruso reafirmando la vieja doctrina de que “cuando las armas sirven a la defensa de la Patria, la Iglesia las bendice así como a sus creadores y a los militares que las usan”. Una explicación que si acaso puede dejar algo perplejos a los biempensantes miembros del comité del Premio Nobel, para quienes se nos dijo aquello de “benditos sean los cañones si en las brechas que abren florece el Evangelio” es *nihil novum sub sole*; dicho de otra manera, *Gott mit uns*.

Pero volvamos al testamento de Alfred Nobel mencionado al principio, piedra fundacional de los premios que llevan su nombre, que fue escrito de su puño y letra en el Club Sueco-Noruego de París y fechado el 27 de noviembre de 1895, un año antes de su muerte. En su redacción, tras adjudicar a diversos familiares, allegados y empleados un total de apenas 100.000 coronas, dispone que el resto

---

<sup>2</sup> <http://izvestia.ru/news/563827#ixzz2qNAFHTbN> [Consultado el 14 de enero de 2014]. Conviene señalar que algunos observadores ponen en duda su autenticidad, considerando la noticia una maniobra propagandística de la iglesia rusa.

de su fortuna (que en el momento de su muerte era de unos 32 millones de coronas) se aplicase a financiar los cinco premios que dejaba estatuidos. He aquí el texto traducido del pertinente párrafo del testamento, cuyo facsímil del manuscrito original puede consultarse en la página oficial del Premio Nobel<sup>3</sup>:

“La totalidad de lo que queda de mi fortuna será dispuesta del modo siguiente: el capital, invertido en valores seguros por mis albaceas, constituirá un fondo cuyos intereses serán distribuidos cada año en forma de premios entre aquéllos que durante el año precedente hayan realizado el mayor beneficio a la humanidad. Dichos intereses se dividirán en cinco partes iguales, que serán repartidas de la siguiente manera: una parte a la persona que haya hecho el descubrimiento o el invento más importante en el campo de la física; una parte a la persona que haya realizado el descubrimiento o mejora más importante dentro de la química; una parte a la persona que haya hecho el descubrimiento más importante en el campo de la fisiología y la medicina; una parte a la persona que haya producido la obra más sobresaliente de tendencia idealista dentro del campo de la literatura; y una parte a la persona que haya trabajado más o mejor en favor de la fraternidad entre las naciones, la abolición o reducción de los ejércitos existentes y la celebración y promoción de procesos de paz. Los premios para la física y la química serán otorgados por la Academia Sueca de las Ciencias, el de fisiología y medicina será concedido por el Instituto Karolinska de Estocolmo; el de literatura, por la Academia de Estocolmo, y el de los defensores de la paz, por un comité formado por cinco personas elegidas por el Storting (Parlamento) noruego. Es mi expreso deseo que, al otorgar estos premios, no se tenga en consideración la nacionalidad de los candidatos, sino que sean los más merecedores quienes reciban el premio, sean escandinavos o no”.

Al instituir sendos galardones en los campos de la física, la química, la fisiología/medicina, la literatura y la paz, es evidente que Alfred Nobel quería premiar, por un lado, a los autores de los avances más destacados en las disciplinas que le habían sido más próximas en el ejercicio de su carrera: la física y la química. Pero por otro lado está también la literatura, que consideraba una elevada actividad del intelecto y que él mismo cultivó con la suficiente competencia lingüística como para escribir poesía en inglés, además de una atrevida tragedia en prosa, *Nemesis*, que fue retirada de la circulación por considerarla escandalosa y blasfema. En

---

<sup>3</sup> [http://www.nobelprize.org/alfred\\_nobel/will/will-full.html](http://www.nobelprize.org/alfred_nobel/will/will-full.html) [Consultado el 14 de enero de 2014].

Traducción en español: [http://es.wikipedia.org/wiki/Premio\\_Nobel](http://es.wikipedia.org/wiki/Premio_Nobel) [Consultado el 14 de enero de 2014].

cuanto a la fisiología y la medicina, todo induce a pensar que su decisión estuviese motivada por la experiencia del dolor, las heridas y las mutilaciones causadas por los artefactos bélicos de cuya producción obtuvo Alfred Nobel los enormes beneficios que nutrieron su vasta fortuna.

Pero ¿y la paz?, porque las otras disciplinas que merecen la atención de Nobel están bien definidas y asentadas en una larga tradición, bien que en su formulación dual: ciencias/letras. Pero la paz resulta un concepto algo más escurridizo, más inasible a causa de su inmaterialidad, y de ahí lo singular de este premio, en cuyo origen se baraja, junto con las pesadumbres de Nobel, la muy probable influencia de la baronesa austríaca Bertha von Suttner, eficaz propagandista del pacifismo (ella misma recibiría el premio en 1905), junto con el filantropismo y las doctrinas filomasónicas tan en boga en la época, a cuyo respecto no será ocioso recordar que el primero de los Premios Nobel de la Paz, en 1901, se otorgó *ex aequo* a Frédéric Passy y Jean Henri Dunant.

Siendo Alfred Nobel una persona de gran cultura, es notable su decisión de excluir de sus generosos premios a disciplinas como la arquitectura, la música, las artes plásticas o las ciencias sociales. A este respecto es oportuno señalar que la incorporación del llamado Premio Nobel de Economía no es, en sentido estricto, tal cosa, pues fue creado en 1968 por el Sveriges Riksbank (Banco Central de Suecia) y dotado con igual cantidad que los otros premios, aunque su denominación real es “Premio del Banco de Suecia en Ciencias Económicas en memoria de Alfred Nobel”. En 1995 se acordó su redefinición como un premio en ciencias sociales, abriendo así su campo de aplicación a las grandes contribuciones en campos como las ciencias políticas, la psicología y la sociología.

Otra singularidad del Premio Nobel de la Paz es la voluntad de su fundador para que fuese discernido por un comité de cinco personas que debía ser nombrado por el Parlamento de Noruega, y no de alguna institución de su Suecia natal como en el caso de los otros cuatro premios. Pero no hemos de olvidar que en aquel tiempo Noruega y Suecia estaban federadas bajo una misma corona y no fue hasta 1905 cuando Noruega se hizo independiente. Además, Noruega no participaba de las mismas tradiciones castrenses que Suecia, y su asamblea legislativa (Storting) se había involucrado muy estrechamente en la Unión Inter-Parlamentaria y sus esfuerzos pacifistas para resolver los conflictos a través de la mediación y el arbitraje, un compromiso al que, al parecer, Nobel daba una gran importancia.

Por todo ello, y por la controversia que con frecuencia sigue a su anuncio, el Premio Nobel de la Paz es el que despierta mayor atención internacional e interés mediático.

## ■ Las armas químicas a través del tiempo

Con carácter general se considera “arma química” a toda sustancia, dispositivo o equipo que por su acción química sobre los procesos vitales puede causar la muerte, incapacidad temporal o lesiones permanentes a seres humanos o animales. Las armas químicas, junto con las armas nucleares y las biológicas (actualmente suelen incorporarse también las radiactivas) constituyen las denominadas armas de destrucción masiva según la Organización de Naciones Unidas, y como tales están prohibidas por varios tratados y convenios específicos que afectan a la comunidad internacional.

A pesar de la temprana conciencia de las atroces consecuencias del empleo de estas armas y, en consecuencia, los reiterados intentos por limitar su uso, lo cierto es que aún hasta nuestros días se han seguido perfeccionando, produciendo y utilizando. Para una mejor comprensión del problema es útil conocer, siquiera mediante un apretado resumen, el origen y la evolución de las armas químicas a lo largo de la historia<sup>4</sup>.

Desde las flechas envenenadas empleadas en épocas bien remotas hasta los sofisticados gases actuales, como el gas sarín empleado hace apenas unos meses 2013 en Siria, el uso de sustancias químicas tóxicas como arma ha sido uno de los recursos bélicos a los que el ser humano ha acudido reiteradamente en las diversas épocas. Incluso si nos remontamos a la Prehistoria, encontramos vestigios desde la Edad de Piedra que nos muestran los orígenes de las armas químicas y biológicas en el uso de las puntas de lanza o flechas recubiertas con sustancias

---

<sup>4</sup> Son numerosas las fuentes de consulta relativas a este tema y adecuadas a nuestro propósito; para una visión de conjunto puede acudir a:

Sidell F; Takafuji, E.T.; Franz, D.R. [Eds.] *Medical aspects of chemical and biological warfare*. Washington: Borden Institute, 1997. Sus treinta y cinco capítulos, a lo largo de más de setecientas páginas, constituyen una fuente de información repetidamente utilizada en numerosas páginas de internet, aunque no siempre se cite la procedencia.

[http://www.escalofrio.com/n/Catastrofes/Las\\_Armas\\_Quimicas/Las\\_Armas\\_Quimicas.php](http://www.escalofrio.com/n/Catastrofes/Las_Armas_Quimicas/Las_Armas_Quimicas.php)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Arma\\_química](http://es.wikipedia.org/wiki/Arma_química) [Consultadas el 14 de enero de 2014].

venenosas extraídas de animales o plantas, empleadas no solo para matar a los animales para la subsistencia, sino también como medio de ataque al enemigo.

En la Grecia antigua, en los poemas épicos de Homero sobre la Guerra de Troya, tanto en *La Ilíada* como en *La Odisea*, encontramos igualmente referencias al uso de lanzas y flechas impregnadas con veneno. Es también en Grecia donde hallamos las primeras referencias de empleo de gas tóxico y de envenenamiento del agua para someter al enemigo. Se dice que durante la Guerra del Peloponeso entre Esparta y Atenas, en el siglo V a.C., en el asedio al que sometieron los espartanos a la ciudad de Platea encendieron un fuego a los pies de las murallas, quemando una mezcla de madera, alquitrán y azufre; el humo, cargado de dióxido de azufre, irritaba las vías respiratorias de todo el que lo inhalaba, provocando la retirada de los atenienses. Unos años antes, durante la Primera Guerra Sagrada (595-585 a.C.) Solón de Atenas contaminó el agua del río Pleistos con raíces de eléboro para envenenar a los ciudadanos de Crisa.

Otras referencias del empleo de humo tóxico en época temprana las encontramos en China, en cuyos manuscritos del siglo X a.C. y posteriores se describen numerosas fórmulas con diferentes componentes como el arsénico o el calcio pulverizado, así como los registros de su uso. En textos de la secta Mohist, en el siglo V a.C., se describe cómo mediante unos fuelles rellenos de semillas de mostaza y otros vegetales tóxicos producían un humo que introducían en los túneles excavados por los enemigos. Este procedimiento asfixiante fue también utilizado en la época de expansión de Roma. En España, durante las incursiones de los romanos en la península, se cuenta que el general Quinto Sertorio (122-72 a.C.) arrojaba sobre el terreno unas cenizas tóxicas, y con la ayuda de los caballos y el viento las expandían por el territorio de sus oponentes.

Curiosamente, según el historiador británico Simon James, en lo que actualmente es Siria, en la ciudad persa Dura-Europos, a orillas del Éufrates, hallamos, los primeros vestigios arqueológicos del empleo de armas químicas. Tomada por los romanos en el año 256 a.C., los persas sasánidas intentaron recuperar la ciudad empleando, además de minas para destruir las murallas, un humo producido por la combustión de betún y cristales de azufre que introdujeron por los túneles de salida de la ciudad y que rápidamente asfixió a los romanos.

En la época medieval continuó el uso de armas químicas, tanto en Europa como en el Oriente. El empleo de gases venenosos por lo chinos es descrito por



el historiador polaco Jan Długosz al relatar su empleo en 1241 por el ejército mongol en la Batalla de Liegnitz, en Silesia, actual Polonia. Pero probablemente el arma química más conocida de esta época sea el llamado “fuego griego” empleado durante todo el Imperio Bizantino. También denominado “fuego marino” o “fuego líquido” por su capacidad de arder incluso en el agua, fue creado en el siglo VI (supuestamente por el refugiado sirio cristiano Calínico de Heliópolis, que a su vez pudo tomarlo de los alquimistas de Alejandría) y ampliamente utilizado en las cruzadas, desde el siglo XI al XIII. El líquido, cuya composición probablemente contenía azufre, nitrato, cal viva y nafta, prendía en contacto con el aire y se lanzaba mediante sifones a presión. Se crearon así los primeros lanzallamas y granadas que impregnaban el líquido sobre los cuerpos y los abrasaba. Se utilizó fundamentalmente en las batallas navales, lanzándolo sobre los barcos y el agua del mar de manera que las llamas quemaban las embarcaciones y a sus ocupantes.

En pleno Renacimiento, encontramos la muy difundida cita de Leonardo Da Vinci en la que sugiere cómo combatir al enemigo: “Arroja veneno en forma de polvo sobre las galeras. Se puede echar yeso, polvo de sulfuro de arsénico y verdín molido entre los barcos enemigos mediante pequeños onagros, y todos los que al respirar inhalen el polvo dentro de sus pulmones resultarán asfixiados.” También podemos observar el empleo de proyectiles o dispositivos tóxicos e incendiarios en el siglo XVII. En el asedio a la ciudad de Groninga, al norte de Holanda, el Príncipe-Obispo de Münster (Westfalia) Christoph Bernhard von Galen ordenó que, junto con otros explosivos, se utilizasen dispositivos que provocasen humos tóxicos. Estas armas químicas tenían en su composición belladona, una planta que puede ser venenosa ya que contiene alcaloides, derivados del tropano, que bloquean las funciones del sistema nervioso. Su uso es común hoy en día, teniendo aplicaciones diversas: en oftalmología, para detener los espasmos bronquiales y gastrointestinales, para el mal de Parkinson, como analgésico para dolores articulares o como sedante, pero en dosis elevadas es capaz de producir alucinaciones y delirios e incluso inducir al coma y provocar la muerte. El efecto producido por el uso bélico de tales sustancias fue tal, que en agosto de 1675 alemanes y franceses firmaron el *Acuerdo de Estrasburgo* por el que se prohibía el uso de balas tóxicas o bombas cargadas de veneno, lo que es considerado como el primer acuerdo internacional que restringía el empleo de armas químicas.

Si bien el desarrollo y uso extensivo de armas químicas no llegaría hasta la Primera Guerra Mundial, conviene detenernos brevemente en algunos ejemplos

del siglo XIX que causaron grandes estragos, así como en el estupor y el rechazo que el uso de armamento químico despertaba entre la opinión pública y entre los propios combatientes. En 1845 el teniente coronel francés Amaible Pelissier, destinado a Argelia como jefe del Estado Mayor de la provincia de Orán, arrasó con el humo de maderas verdes una tribu árabe completa en el Dahra, cerca de Mostagane. A pesar de la indignación producida en la opinión pública europea –tanto que el ministro de Guerra tuvo que condenar públicamente los hechos– Pelissier fue ascendido a general de brigada primero, y a general de división años más tarde.

Una década después, durante la Guerra de Crimea, el químico escocés Lyon Playfair diseñó y recomendó el empleo de un proyectil de artillería cargado de cianuro para desatascar el punto muerto a que se había llegado en el sitio de Sebastopol en 1855. El objetivo era provocar la muerte del enemigo por parada cardiorrespiratoria, ya que el cianuro anula la respiración celular al impedir que el oxígeno se fije a la hemoglobina de los glóbulos rojos. Si bien la idea recibió el respaldo del almirantazgo británico y fue tenida en consideración por el Primer Ministro, Lord Palmerston, fue finalmente rechazada por el departamento de artillería al considerarlo “un tipo de guerra tan pernicioso como envenenar los pozos de los enemigos”. La respuesta presentada a dicho departamento por el barón Playfair ha servido sin embargo para justificar posteriormente el empleo de las armas químicas, un argumento que por su descarado cinismo bien vale la pena reproducir: “Esa objeción no tiene sentido. Se considera un modo legítimo de guerra rellenar los proyectiles con metal fundido que hace estragos entre el enemigo, y produce las más horribles heridas y la muerte. No es comprensible que un vapor venenoso que podría matar a los hombres sin sufrimiento sea considerado como guerra ilegítima. La guerra es destrucción, y cuanto más destructiva sea con el menor sufrimiento antes se acabará con este bárbaro método de protección de los derechos nacionales”.

Durante la Guerra Civil Americana (1861-1865) se presentaron multitud de propuestas de armas químicas y biológicas: globos con gas venenoso, proyectiles de cloro líquido, gas con cloroformo, nubes ácidas de hidrócloruro o sulfuro, cartuchos de humo sofocante, granadas de vidrio y cacodil. Quizá una de las propuestas más referenciadas fue la del profesor neoyorquino John Doughty, que planteó el uso de proyectiles con cloro líquido en su interior, de modo que al explotar expandirían gran cantidad de gas de cloro. Parece, no obstante, que tales propuestas fueron rechazadas por objeciones de carácter ético o moral.

En otros conflictos de finales de siglo XIX se hicieron también ensayos de armas químicas, y aunque los resultados fueron limitados sirvieron para desarrollar el armamento que se emplearía pocos años después. En la Guerra de los Boers las tropas británicas dispararon proyectiles de ácido pícrico. Durante la guerra ruso-japonesa los soldados nipones lanzaron antorchas tóxicas en las trincheras rusas. En 1887 los alemanes tomaron en consideración el uso de gases lacrimógenos para fines militares, mientras que los franceses también iniciaron un programa de guerra química y biológica rudimentaria con el desarrollo de gases lacrimógenos, proyectiles y granadas con bromoacetato de etilo y cloropicrina.

El Convenio de Bruselas de 1874 establecía leyes y usos de la guerra terrestre, incluyendo la prohibición del empleo de veneno o armas envenenadas, así como el uso de armas, proyectiles o material destinado a causar un sufrimiento innecesario [sic]. Algunos años más tarde, en 1899 y 1907, se celebrarían las *Conferencias de Paz de la Haya*, en las que multitud de países firmaron un acuerdo en el que se prohibía el empleo de proyectiles con carga de gas tóxico. Pero tales convenios resultaron ineficaces y no fueron respetados, y apenas iniciada la Primera Guerra Mundial se inició una escalada en el uso extensivo de armamento químico, fundamentalmente en forma de gases venenosos

Los primeros en emplear los agentes químicos fueron los franceses, quienes en agosto de 1914 lanzaron granadas rellenas de gas lacrimógeno compuesto de bromuro de xililo. La respuesta de los alemanes se produjo en octubre de ese mismo año, disparando obuses de fragmentación con agentes químicos irritantes sobre las tropas francesas en Neuve Chapelle, sin embargo la escasa concentración dispersada apenas causó efecto. Unos meses más tarde de nuevo los ejércitos alemanes utilizarían el gas como arma, pero esta vez de manera masiva. En enero de 1915, durante la Batalla de Bolimov, lanzaron 18.000 obuses de artillería de bromuro de xililo líquido, conocido como T-Stoff, sobre el frente ruso en el río Rawka, al oeste de Varsovia. Pero nuevamente fallaron en su propósito, pues el producto se congeló en lugar de vaporizarse y extenderse.

Tras el fracaso, los alemanes optaron por el uso del cloro que, liberado en forma gaseosa, se convirtió en la primera arma química letal. El químico Fritz Haber (que llegaría a recibir el Premio Nobel) en colaboración con el conglomerado de empresas IG Farben que obtenían cloro al fabricar tintes, desarrolló métodos para descargar cloro gaseoso sobre los enemigos. El 22 de abril de 1915, en Langermarck, al norte de Ypres, en Bélgica, las tropas del Káiser Guillermo II con

un cargamento de casi 6.000 cilindros con unas 160 toneladas de cloro crearon una extensa nube verdosa que hizo retroceder siete kilómetros a los horrorizados soldados franceses. Si bien los alemanes no pudieron tomar dicho lugar por la toxicidad del gas, y la franja fue ocupada por británicos y canadienses, el éxito del experimento les sirvió para abordar la segunda batalla en la zona. Lo emplearon de nuevo pocos días después en tres ataques contra canadienses y británicos, que en gran número murieron casi de inmediato y muchos otros tras largos sufrimientos. Aunque pronto se crearon defensas para el gas con trapos húmedos, ya que se licuaba fácilmente, y a pesar de que su presencia se detectaba con cierta facilidad por el color verdoso y el fuerte olor, el arma siguió empleándose con intención terrorista como medio de intimidación.

Los británicos rápidamente pasaron a la ofensiva y probablemente fueron sus ejércitos quienes más ataques químicos con cloro realizaron en esta guerra. Todo ello a pesar del fracaso de su primer intento en la Batalla de Loos, el 25 de septiembre de 1915, en cuyo transcurso lanzaron 150 toneladas de gas, pero el viento acabó dispersándolo sin causar los efectos previstos. Para mejorar la eficacia del gas de cloro, el químico francés Victor Grignard primero, y el citado Fritz Haber después, añadieron fosfogeno al cloro. Este agente tardaba 24 horas en hacer efecto pero era mucho más letal que el cloro y más difícil de detectar, al ser incoloro y con un olor menos destacado, aunque como era más denso que el aire debía mezclarse con el cloro para su mejor dispersión. Los alemanes lo emplearon contra los británicos el 19 de diciembre de 1915 en Nijmegen, ocasionando más de un millar de bajas. Un año después los británicos incorporaron hexametilentramina en el filtro de sus máscaras de gas para contrarrestar los efectos de este producto, conocido como Estrella Blanca.

Pero el gas más efectivo y mortífero de la Primera Guerra Mundial fue el gas mostaza, bautizado así por los británicos por su olor característico. Compuesto de iperita o sulfuro bis (2-cloroetil), el gas mostaza es un vesicante, por lo que en contacto con la piel produce irritación y ampollas. Sus efectos pueden ser desde una leve irritación de la piel, a la ulceración, fuertes quemaduras y destrucción de tejidos. Sintetizado por Wilhem Steinkopf, lo emplearon los alemanes por primera vez en la tercera batalla de Ypres en julio de 1917. Su objetivo primordial era disuadir al enemigo, aunque en dosis elevadas podía ser mortal. Se disparaba dentro de proyectiles de artillería, se dispersaba en forma de líquido y se evaporaba al caer, contaminando todo el terreno. Empleado fundamentalmente en el Frente Occidental, sobre todo en la guerra de trincheras, probablemente los mayores es-

tragos se produjeron en los ataques alemanes contra las tropas rusas en el Frente Oriental, al no disponer estos de contramedidas efectivas. También lo utilizaron los británicos en Palestina durante la Segunda Batalla de Gaza. En todos los casos, los testimonios de sus efectos, abundantemente documentados en escritos y fotografías, son altamente sobrecogedores.

A pesar de ello, tras la Primera Guerra Mundial tanto los Estados Unidos de Norteamérica como los países de Europa siguieron empleando las armas químicas para frenar rebeliones y establecer y mantener las colonias. Así, tras la derrota del Imperio Otomano en 1917, los británicos ocuparon Mesopotamia, actual Irak, y aunque no haya podido ser completamente demostrado, parece probable que para reprimir los ataques de árabes y kurdos y acabar con las numerosas bajas en sus filas empleasen agentes químicos como el gas mostaza.

En la Guerra del Rif, en el Marruecos ocupado por España y Francia, se emplearon armas químicas para combatir los ataques de las tribus del norte, sobre todo después de la masacre sufrida en el Monte Arruit en 1921. Las bombas empleadas, principalmente de gas mostaza, iperita y fosfogeno, fueron desarrolladas en el protectorado español bajo la supervisión de empresas alemanas, y aunque también afectaron a la población, el objetivo principal de estas armas eran los campos de cultivo, por lo que los rifeños se vieron en la necesidad de atacar el territorio francés para conseguir alimentos. Al término de la guerra, en 1927 con el triunfo de la coalición franco-española y la recuperación del protectorado español, España fue acusada de crímenes de guerra por el uso de las armas químicas, pues en 1925 había firmado el Protocolo de Ginebra por el que 16 países se comprometían a no usar gases tóxicos ni armas bacteriológicas, si bien no se prohibía expresamente su posible producción y almacenamiento. El senado de Estados Unidos no ratificaría hasta cincuenta años después, en 1975, el Protocolo de Ginebra, al que en la actualidad se han adherido 137 miembros. También Italia pasó por encima de dicho tratado al lanzar bombas de gas mostaza durante la invasión de Etiopía en 1935, causando alrededor de 15.000 muertes. Del mismo modo, los soviéticos emplearon gas mostaza contra los musulmanes chinos en 1934 en la invasión de Xinjiang, en la región noroccidental de la actual China.

Los historiadores señalan el notable hecho de que en la Segunda Guerra Mundial no proliferase el empleo de armas químicas, aunque eso no signifique que no se usaran en absoluto. Japón empleó tanto el gas mostaza como otro agente vesicante, la lewisita, en su lucha contra China, ataques que según recientes in-

vestigaciones fueron autorizados por el mismo emperador Hirohito. Los alemanes desarrollaron nuevas armas químicas al descubrir nuevos agentes que actuaban sobre el sistema nervioso, conocidos como tabún, sarín y soman. Aunque según los documentos de la agencia de inteligencia alemana, Abwehr, fabricaron grandes cantidades de estos productos, se cree que los nazis no hicieron uso de ellos al considerar su nula ventaja, pensando que los aliados también disponían de los mismos gases. No obstante, sí hicieron uso del pesticida conocido como Zyklon B, compuesto de cianuro de hidrógeno, en los campos de concentración de Auschwitz y Majdanek.

Tras el fin de la Segunda Guerra Mundial, y a pesar de que el desarrollo de armas químicas y biológicas fue muy amplio, solo encontramos algunos ejemplos de su empleo durante la Guerra Fría. En 1957 Cuba denuncia el uso de “químicos agresivos”, probablemente napalm, en los ataques de las tropas gubernamentales de Fulgencio Batista contra los guerrilleros de Fidel Castro. A finales de 1958, y pese al término de la guerra civil en China, la radio de Pekín denuncia el ataque con armas químicas por parte del frente nacionalista contra las tropas de la China popular. En la guerra civil de Yemen del Norte (1962-1970) Egipto, que apoyaba a los yemenitas que luchaban por instaurar una república árabe, usó gases tóxicos contra los realistas de Mutawakkilite, apoyados por Arabia Saudita y Jordania.

Pero los efectos más devastadores de armas químicas en ese período se produjeron durante la prolongada Guerra de Vietnam (1955-1975). El presidente J. F. Kennedy aprobó el 30 de noviembre de 1961 el empleo de agentes químicos para destruir los cultivos que abastecían de alimentos a los vietnamitas del norte, así como las zonas de vegetación donde estos se ocultaban. La gran cantidad de defoliantes químicos arrojados causó un daño ingente en la población civil, entre muertos y heridos. El conocido como agente naranja, un potente herbicida y defoliante, provocaba debilidad muscular, disminución de la visión o ceguera, cáncer, daños en el hígado, nacimientos con malformaciones y abortos. El napalm, un combustible gelatinoso con el que se incendiaron grandes extensiones de terreno, se adhería a la piel causando gravísimas quemaduras.

Más recientemente, la guerra entre Irán e Irak se inició en septiembre de 1980, cuando las tropas de este último país invadieron Juzestán para conseguir la anexión de la región de Shatt al-Arab. Desde los primeros ataques Irak empleó gas mostaza y tabún, y aunque tanto Irak como su aliado Estados Unidos acusaron a Irán de utilizar también armas químicas, tal uso no ha sido demostrado. Además

de las bajas durante el conflicto, en torno a unas 100.000, los gases causaron numerosas enfermedades que todavía hoy persisten entre quienes sobrevivieron a los ataques. También en Irak, la población kurda de Halabja sufrió en marzo de 1988 un ataque químico con gases de cianuro, gas mostaza y gases nerviosos, en el que murieron en torno a 6.000 de sus 50.000 habitantes; tal ataque formaba parte de la campaña genocida dirigida por el primo de Sadam Hussein, Alí Has-sam al Mayid, conocido como “Alí el Químico” precisamente por el empleo de armas químicas.

Ya en nuestros días, el ejército sirio ha empleado armas químicas en varias ocasiones contra la población civil y los combatientes sublevados. El último ataque, en el que se utilizó gas sarín, se produjo el 21 de agosto de 2013, murieron 1.400 personas y otras 3.000 resultaron heridas en Guta, al sur de Damasco. Denunciado por la oposición y la comunidad internacional y tras las comprobaciones de la ONU y las amenazas de Estados Unidos y otros países occidentales de intervenir militarmente en Siria, se ha firmado un acuerdo promovido por Rusia para realizar el completo desarme químico de Siria, supervisado y verificado por la OPAQ, institución que meses después sería galardonada con el Premio Nobel de la Paz.

## ■ La Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ)

La Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPCW por sus siglas en inglés: Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons) es el organismo encargado de la aplicación internacional de la Convención sobre Armas Químicas, un tratado firmado en París el 13 de enero de 1993 que entró en vigor el 29 de abril de 1997, pasando a añadirse al anterior Protocolo de Ginebra de 1925 sobre esa materia<sup>5</sup>. Acaso su característica más notable es que para asegurar su cumplimiento, además de unas normas de comportamiento entre Estados, establece un sistema de verificación mediante inspecciones internacionales. Este sistema se aplica a las armas químicas y a las sustancias químicas de doble uso

---

<sup>5</sup> Su texto íntegro fue publicado en el Boletín Oficial del Estado del 13 de diciembre de 1996. Alternativamente al BOE, puede obtenerse una copia digital del texto íntegro en español de la Convención y sus anexos en:

<http://www.un.org/disarmament/WMD/Chemical/pdf/cwctext-spanish.pdf>

Así como también:

<http://www.minetur.gob.es/industria/ANPAQ/Convencion/Paginas/txtconvencion.aspx>

(pacífico/bélico). Aunque a menudo la OPAQ es considerada como un departamento de las Naciones Unidas por sus estrechas relaciones con esa institución, es un organismo independiente, con sede en la ciudad holandesa de La Haya.

La Convención para la Prohibición de Armas Químicas establece en su artículo VII la necesidad de que cada Estado Parte adopte, de conformidad con sus procedimientos constitucionales, las medidas legislativas nacionales de aplicación que aseguren el cumplimiento de las obligaciones contraídas en virtud de aquella. En España, la aplicación de la Convención está regulada por la Ley 49/1999, de 20 de diciembre, sobre medidas de control de sustancias químicas susceptibles de desvío para la fabricación de armas químicas. Con anterioridad, y apenas diez días después de su entrada en vigor de la Convención, el Consejo de Ministros del Gobierno de España aprobó en su reunión del viernes 9 de mayo de 1997 un Decreto por el que se regulaban la composición y funciones de la Autoridad Nacional para la Prohibición de las Armas Químicas, un órgano colegiado integrado por nueve Departamentos Ministeriales, cuyo cometido es la aplicación en España de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas<sup>6</sup>.

La OPAQ tiene como misión asegurar la destrucción de las armas químicas y evitar cualquier forma de su desarrollo o proliferación en el futuro. Para alcanzar estos objetivos la OPAQ recibe de los Estados Parte información sobre la aplicación de la Convención y realiza las actividades de verificación establecidas en la Convención. Consta de tres órganos: la Conferencia de Estados Parte, el Consejo Ejecutivo y la Secretaría Técnica. Además cuenta con varios órganos consultivos especializados, como la Comisión de Confidencialidad y el Comité Consultivo Científico-Técnico.

La Conferencia de Estados Parte es el máximo órgano de decisión de la Organización y, por tanto, principal responsable de la aplicación y difusión de la Convención. Está integrada por representantes de todos los Estados Parte, que se reúnen una vez al año o cuando la situación lo requiere.

El Consejo Ejecutivo es el órgano de gobierno de la OPAQ, responsable ante la Conferencia de Estados Parte. Consta de 41 miembros, elegidos por un período de dos años, que representan a cinco grupos regionales (Asia, África, Europa del

---

<sup>6</sup> <http://www.minetur.gob.es/industria/ANPAQ/Internacional/Paginas/opaq.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2014].



Este, América Latina y el Caribe, y Europa occidental y otros Estados). El Consejo mantiene relaciones permanentes de cooperación con las Autoridades Nacionales de los Estados Parte, siendo actualmente España miembro de dicho Consejo Ejecutivo.

La Secretaría Técnica es la encargada de llevar a cabo todas las tareas de aplicación de la Convención, recibe y procesa las declaraciones de las Autoridades Nacionales y realiza las actividades de verificación. Su director es el Director General de la OPAQ, elegido por la Conferencia de Estados Parte por un período de cuatro años. La Secretaría colabora con gobiernos, representantes de la industria química, medios de comunicación y organizaciones no gubernamentales en la realización de todo tipo de actividades relacionadas con la difusión y aplicación de la Convención.

El seguimiento en detalle de las actividades de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas puede hacerse a través de su publicación oficial *OCPW Today*, que aparece dos veces al año, así como de la página web de la organización: <http://www.opcw.org/sp/>

A lo largo de sus dieciséis años de existencia la OPAQ ha venido realizando un importante trabajo, por lo general de manera discreta y prácticamente inadvertida por la opinión pública y los medios de comunicación. Sin embargo, la concesión del premio Nobel de la Paz ha puesto a la OPAQ en primera línea de atención. En el discurso de recepción del premio, leído en Oslo el pasado día 10 de diciembre<sup>7</sup>, el actual director general de la OPAQ, el diplomático turco Ahmet Üzümcü, ponía de relieve los rasgos principales de su actividad, que se resumen seguidamente, señalando en primer lugar cómo, si bien El Comité Nobel tiene una larga trayectoria de honrar los logros en materia de desarme, esta es la primera vez que el Premio de la Paz se otorga a una organización que participa de manera activa en el desarme como una realidad práctica y permanente.

En el marco de lo establecido en la Convención sobre Armas Químicas, la OPAQ ha verificado hasta ahora la destrucción de más del 80% de todas las armas químicas declaradas. También ha implementado una amplia gama de medidas para prevenir la reaparición de este tipo de armas. Y con 190 Estados actualmente

---

<sup>7</sup> [http://nobelpeaceprize.org/en\\_GB/laureates/laureates-2013/presentation-2013/](http://nobelpeaceprize.org/en_GB/laureates/laureates-2013/presentation-2013/) [Consultado el 14 de enero de 2014].

adheridos a esta prohibición global, estamos aproximando a la realidad la visión de un mundo libre de armas químicas.

No puede haber ninguna duda sobre el valor de esta tarea. Las armas químicas se han utilizado con brutal regularidad a lo largo de todo el siglo XX y, desgraciadamente, también en nuestro siglo. Ningún arma, por supuesto, tiene el monopolio de la crueldad o la letalidad, pero las armas químicas tienen, en todo caso, una herencia especialmente nefasta. Casi cien años después de su primer uso a gran escala en los campos de batalla de Flandes, es bueno recordar las razones por las que estas armas evocan tal horror, hasta nuestros días.

Las armas químicas inciden en el arraigado y patológico miedo de todos los seres humanos a ser envenenados. No discriminan entre combatientes y civiles, ni entre el campo de batalla y la población. No se pueden ver. No se puede oler. Y no dan ninguna advertencia a los desprevenidos. Pero sus efectos son devastadores: quemaduras, ceguera o asfixia. Raramente la muerte se produce de manera instantánea, y nunca sin dolor. Y cuando no consiguen matar, como ocurre con frecuencia, estas armas causan un daño duradero en las personas y su entorno, negándoles la posibilidad de reparación y reconstrucción posteriores al conflicto.

No es necesario pormenorizar con detalle esos efectos en todas sus terroríficas variantes, capaces de desafiar cualquier descripción. No hay más que mirar las fotos de las víctimas para comprender la agonía que deben haber sufrido, desde Ypres en Bélgica para Sardasht en Irán, desde Halabja en Irak a Guta en Siria. Y basta con ver a la suerte de los sobrevivientes de estos ataques, gentes destinadas a pasar el resto de su vida sufriendo un dolor físico y psicológico insoportable, para entender por qué esas armas deben ser prohibidas.

El fracaso de sucesivos intentos en el pasado encaminados a tal prohibición no impidió la continuación de los esfuerzos para lograrlo. Así se llegó finalmente al acuerdo de prohibición total y alcance mundial que representa la Convención de Armas Químicas, un importante triunfo en la historia de la acción multilateral en pro de la causa de la paz y la seguridad, y el establecimiento de una organización totalmente independiente, la OPAQ, para supervisar su aplicación. El éxito de la Convención radica en la existencia y funcionamiento de un mecanismo amplio de verificación internacional. Un mecanismo que no tenía ningún modelo previo y tuvo que ser desarrollado desde cero. Un mecanismo que obliga a cada uno de los 190 Estados miembros de la Convención, sin diferencia alguna ni discriminación, a des-

truir sus existencias de armas químicas y las instalaciones de producción, así como poner de manifiesto ante la inspección las instalaciones industriales que podrían utilizarse para fines prohibidos por este tratado. Un mecanismo que no admite excepción alguna y permite llevar a cabo inspecciones a corto plazo para investigar el presunto empleo de armas químicas, o sospechas sobre las actividades prohibidas.

En definitiva, un mecanismo que hace recaer en los Estados la responsabilidad de garantizar la plena transparencia con respecto a sus obligaciones, con la actuación de la OPAQ como árbitro y guardián de la Convención sobre Armas Químicas.

Con la entrada en vigor de la Convención en 1997 hemos sido capaces de tender un puente que cubre el amplio espacio entre la pasión por el desarme y el sentido práctico, entre el sentimiento y la acción, entre la noble ambición y logros concretos. Y, por primera vez en la historia de la diplomacia multilateral, hemos sido capaces de demostrar que la toma de decisiones basada en el consenso puede producir resultados verificables prácticos y eficaces, sobre todo en materia de desarme. Desde la situación actual, hemos de enfatizar el compromiso de los Estados miembros para la aplicación efectiva de la Convención.

Los logros alcanzados hacen que los recientes ataques químicos en Siria, que a todos nos han impactado, hayan resultado aún más trágicos. Y ponen de relieve las evidentes ventajas de seguridad que disfrutaban los estados adheridos a la Convención: en los dieciséis años que lleva vigente, ningún Estado miembro ha sufrido un ataque con armas químicas. Afortunadamente, la respuesta internacional a los ataques puso en marcha una extraordinaria serie de acontecimientos, que finalmente dieron como resultado la adhesión de Siria a la Convención, otorgando un papel de primera línea para la OPAQ, en colaboración con las Naciones Unidas, para proceder a la eliminación de las armas químicas sirias. Nunca en su historia la OPAQ había enfrentado la supervisión y la destrucción de un importante arsenal de armas químicas en medio de una guerra civil y en plazos tan apurados. Pero, por más que esta misión ponga a prueba nuestras capacidades y recursos, los progresos alcanzados hasta la fecha han venido a reforzar nuestra confianza en que podemos tener éxito.

El actual consenso internacional para la eliminación de las armas químicas en Siria tiene como base el mismo consenso que en el pasado hizo posible la Convención sobre Armas Químicas. Ahora, el reto es convencer a esos seis países que aún permanecen fuera de la Convención para unirse a ella, sin reservas ni demoras.

Una clave decisiva en el logro de los objetivos de la OPAQ está en sus activos vínculos con la comunidad científica. De esta asociación depende en buena medida el éxito de la Convención en lo que concierne a la naturaleza de doble uso de los elementos que intervienen en la fabricación de armas químicas, donde muchos de sus materiales y tecnologías también tienen aplicaciones comerciales e industriales beneficiosas. Sin una comprensión común de la línea que divide lo que nos beneficia y lo que nos daña, no puede haber una verificación eficaz; es la asociación de la OPAQ con la ciencia lo que ha permitido definir esa línea de una manera justificable y clara.

Cuando la Convención sobre las Armas Químicas concluyó en 1992, fue anunciada con razón como el más tangible resultado de desarme en la época posterior a la Guerra Fría. Pero en las más de dos décadas transcurridas desde entonces, poco más podemos mostrar en el ámbito del desarme para los grandes dividendos de paz que el fin de la Guerra Fría nos trajo. Es ya el momento de avanzar hacia un modelo de seguridad diferente y más duradera en consonancia con las extraordinarias oportunidades que la globalización ha traído, una seguridad que armoniza el desarrollo humano, la cooperación económica y la prosperidad mutua.

No puede decirse que la historia del control de armas haya mostrado la falta de pasión. Sin embargo, cuando hay tanto en juego, la pasión debe asentar sus pies en la realidad si pretende lograr sus ambiciosos propósitos. Esto significa ser pragmático, con una mente clara, incluso desapasionada, sobre la elección de las mejores herramientas posibles para conseguir y consolidar los objetivos del desarme. Y a menudo significa que los gobiernos han de mostrar valentía política para tomar decisiones difíciles en beneficio de la comunidad de naciones.

La Convención sobre las Armas Químicas ha demostrado que este tipo de enfoque produce resultados. Y que es algo más que meras palabras y promesas escritas en un papel. Se trata de un compromiso global orientado a librar al mundo de las armas químicas y asegurarse de que nunca más sean una amenaza para la humanidad.

## ■ Posiciones críticas

El Premio Nobel de la Paz es considerado en la actualidad como el más polémico de los cinco premios concedidos cada año por la Fundación Nobel. Una vez

tras otra, vuelven a repetirse las manifestaciones de decepción en cada anuncio de quién será el premiado ese año. Lógicamente existe una disparidad de opiniones y tendencias que no solo afecta al Nobel de la Paz, sino también a cualquiera de los otros premios, en lo que cada uno querría ver reconocido al candidato de su preferencia. Pero parece que el premio a quien “haya trabajado más o mejor en favor de la fraternidad entre las naciones, la abolición o reducción de los ejércitos existentes y la celebración y promoción de procesos de paz” resulta especialmente propicio al desacuerdo. Por lo general, no suele tratarse de una frontal discrepancia con la decisión del Comité Nobel, pues queda fuera de toda discusión que el elegido reúne méritos suficientes que lo acreditan; más bien ocurre que para muchos la persona o institución premiada no es la que mejor encarna en ese momento los valores señalados por Alfred Nobel y considerarían más adecuado que el premio recayera en otro candidato.

Pero es justo aquí donde es necesario hacer una importante precisión, pues la selección de tales candidatos es mantenida en secreto por el Comité, que solo anuncia finalmente el nombre del premiado; los nominados de cada convocatoria no son conocidos hasta pasados cincuenta años. De manera que las opiniones y los juicios acerca de la idoneidad del premiado en relación con otros nominados se basan en suposiciones, noticias o conjeturas que jamás son confirmadas o denegadas por el Comité Nobel, cuyas opciones que sirvieron de base a la elección solo se sabrán medio siglo después.

En cada caso el procedimiento se inicia con una propuesta que puede ser presentada por miembros de los parlamentos nacionales, los gobiernos y los tribunales internacionales de derecho, rectores de universidad, profesores de ciencias sociales, historia, filosofía, derecho y teología, directores de instituciones y centros de investigación de asuntos relativos a la paz; también anteriores ganadores del Premio Nobel de la Paz pueden presentar candidatos, así como los miembros actuales y anteriores del Comité Noruego del Nobel, y los exconsejeros del Instituto Nobel de Noruega. En la actualidad tales propuestas alcanzan un elevado número, superior a los dos centenares, que en las primeras sesiones de evaluación suele quedar reducido a una lista con los veinte o treinta que son considerados más relevantes. Habitualmente a principios de octubre y tras sucesivas sesiones, los cinco miembros que integran el Comité Nobel eligen finalmente mediante voto de la mayoría (y con frecuencia tras apasionadas y tensas discusiones) al destinatario del Premio Nobel de la Paz ese año, siendo esa decisión definitiva e inapelable. El Comité no informa ni a los medios de comunicación ni a los propios nominados

acerca de su candidatura ni de las eventuales gestiones o informes previos a su decisión final.

Muchos estadistas y líderes políticos fueron en su día nominados para el Premio Nobel de la Paz, entre los que figuran Benito Mussolini (1935), Adolf Hitler (1939) y Joseph Stalin (1945 y 1948). Ciertamente es que a ninguno de ellos le fue otorgado, pero no conforta especialmente constatar que tampoco se le concedió jamás al gran apóstol de la no violencia, el indio Mahatma Gandhi, a pesar de haber sido propuesto hasta en cinco ocasiones.

Sea cual sea la decisión del Comité Nobel, es prácticamente seguro que encontrará detractores. Hoy a nadie se le ocurre criticar la concesión del premio al Comité Internacional de la Cruz Roja en un momento tan significativo como el año 1917, pero si repasamos otros de los premios concedidos en la últimas décadas, nos encontraremos con la oposición que despertó en 1965 el premio a la UNICEF, una organización internacional que defiende los derechos de la infancia, por quienes le reprochaban haber incluido el aborto como método de planificación familiar en países del Tercer Mundo. Muy sonada fue la renuncia a su galardón del político vietnamita Le Duc Tho, premiado en 1973 junto a Henry A. Kissinger, a quien una parte de la opinión internacional consideraba instigador de genocidios; cuarenta años después, sigue siendo uno de los premios más discutidos, incluso en el seno del propio Comité Nobel. También despertó fuertes reacciones el concedido en 1992 a la guatemalteca Rigoberta Menchú por “su trabajo a favor de la justicia social y la reconciliación etno-cultural basada en el respeto a los derechos de los indígenas”, pero que según mostraron posteriores investigaciones había falseado su trayectoria y apoyaba regímenes dictatoriales y organizaciones violentas.

La repetida estrategia del Comité Nobel de la Paz consistente en tratar de “integrar a los contrarios” parece haber resultado una fórmula infalible para promover los más airados desacuerdos, tal como ocurrió en 1978, cuando se dio el premio conjuntamente al egipcio Anwar El-Sadat y al israelí Menajem Begin, fórmula repetida en 1994 con la concesión del premio a Yassir Arafat junto a Simon Peres e Isaac Rabin. Incluso premios concedidos a personalidades con perfil aparentemente menos polémico han sido igualmente objeto de desacuerdo, tal como ocurrió en 2001 con el Secretario General de la ONU, Kofi Annan, que se había visto involucrado en un escándalo junto a su hijo Kojo Annan por sospechas de corrupción en el programa de “Petróleo por alimentos”. Aunque no fueron los únicos, particularmente irritada se mostró una parte significativa de la opinión

pública británica al conocer que el Nobel de la Paz de 2012 había recaído en la Unión Europea, llegando el diario londinense *Daily Telegraph* en un editorial a tildar la decisión de absurda, destacando la falta de acción de la UE durante el conflicto de los Balcanes y las peligrosas tensiones generadas por el euro entre los distintos Estados de la Unión.

Acaso uno de los premios que ha dado lugar a los más encendidos debates es el concedido en 2009 a Barack Obama, apenas unos meses después de alcanzar la presidencia de los Estados Unidos, por “su visión y su trabajo por un mundo sin armas nucleares” y por “sus extraordinarios esfuerzos para fortalecer la diplomacia internacional” argumento que fue severamente criticado, ya que, por loables que sean los esfuerzos, visiones e intenciones, no parecen materia real suficiente para un reconocimiento de esta categoría. No faltan analistas para quienes el actual premio 2013 a la OPAQ debe interpretarse como una manera de salvar la cara de un Obama (y del propio Comité Nobel) dispuesto, aparentemente al menos, a desencadenar en Siria una temeraria escalada militar a cuenta de la utilización de armamento químico por las tropas del gobierno de Bagdad.

A la vista de los ciento veintiséis Premios Nobel de la Paz que jalonan su trayectoria a través de los años, y más allá de sus rotundos aciertos en unos casos y su discutible arbitrariedad en otros, hay quienes interpretan esas distinciones de aspecto altruista considerando que son en realidad galardones de carácter político que se otorgan en función de los intereses de los países y fuerzas que dominan el mundo. Se trataría, pues, de un mecanismo publicitario para reforzar y legitimar determinados procesos ideológicos y políticos ante la opinión pública internacional, actuando como recompensa hacia personajes caracterizados por haber sido claves en la ejecución de tales procesos favorables a las potencias hegemónicas, como en su día habría ocurrido con Theodore Roosevelt, premiado en 1906, y más modernamente con George C. Marshall en 1953, Willi Brandt en 1971, Lech Wałęsa en 1983, el Dalai Lama en 1989 o Mijail Gorbachov en 1990, entre otros.

En el presente caso de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas la decisión del Comité Nobel parece más que justificada, habida cuenta del insostenible grado de tensión generado en la guerra de Siria a causa del uso de armamento químico y la indiscutiblemente benemérita actuación de la OPAQ. En todo caso, la decisión a favor de la OPAQ sorprendió a los medios, pues eran otros los nombres que se barajaban como premiables, entre ellos el médico congoleño

Denis Mukwege, el obispo mexicano José Raúl Vera, la activista rusa Svetlana Gánushkina o los comunicadores Julian Assange y Edward Snowden, si bien ya en la recta final hacia el anuncio del galardón parecía perfilarse como clara favorita la joven paquistaní Malala Yusufzai, la adolescente de 16 años tiroteada por los talibanes por defender la educación femenina en su país.

El haberse decantado finalmente el Comité Nobel en favor de la OPAQ significa un firme y bien merecido espaldarazo a la labor que esta organización viene desarrollando para el control y la destrucción de los arsenales químicos, una misión encomiable que en modo alguno debe distraer nuestra atención de los dos millones largos de refugiados, quinientos mil heridos y la escalofriante cifra de más de ciento cincuenta mil víctimas mortales que ha causado hasta ahora el conflicto sirio, muertos que solo en una mínima proporción lo han sido por la acción de armas químicas. Unos muertos que, en todo caso, ya nunca podrán incorporarse al paso alegre de la paz, cuando esta llegue, y si es que llega acompañada de la libertad y la justicia que dan sentido a la paz y hacen que esta no sea solo una palabra hueca que suena a tiro sordo.

## ■ La evolución del Premio Nobel de la Paz

El concepto y la interpretación de los términos del testamento de Alfred Nobel por parte del Comité del Nobel de la Paz han ido cambiando en el transcurso del tiempo, tal como se reconoce en la propia organización. La historia ya más que centenaria del premio muestra que en los criterios del Comité Nobel de Noruega hay diferentes caminos hacia la paz. Ya en la primera edición del premio, que en 1901 compartieron el político pacifista Frédéric Passy y Jean Henry Dunant, fundador de la Cruz Roja Internacional, el Comité Noruego del Nobel estableció una concepción amplia de la paz, con el argumento de que también el trabajo humanitario encarna “la fraternidad entre las naciones” a la cual Nobel se había referido a en su testamento.

En los primeros años, hasta la Primera Guerra Mundial, el premio fue otorgado a menudo a pioneros de movimientos organizados en pro de la paz. Varios de quienes obtuvieron aquellos galardones fueron parlamentarios que se habían comprometido a trabajar para resolver los conflictos sobre la base de la ley y del arbitraje internacional.



En el período de entreguerras, la atención se centró más en los políticos activos que trataron de promover la paz y la distensión por medio de la diplomacia y los acuerdos internacionales, pero también hubo galardones para quienes se distinguieron en labores humanitarias, como la Liga de las Naciones Unidas para los Refugiados. A partir de la Segunda Guerra Mundial el Premio de la Paz ha sido otorgado principalmente para honrar los esfuerzos en cuatro áreas principales: el control de armamentos y el desarme, las negociaciones de paz, la democracia y los derechos humanos, y los trabajos encaminados a crear un mundo mejor organizado y más pacífico. Por otra parte, año tras año, de manera acaso lenta pero firme, fue aumentando la atención que el Comité prestaba a los nominados procedentes de ámbitos distintos a Europa occidental y Norteamérica, que hasta entonces habían venido acaparando la gran mayoría de los premios. Con sus premios a Wangari Maathai en 2004 y al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y Al Gore en 2007, el Comité Nobel ha indicado que su concepto de la paz actualmente abarca también los esfuerzos para limitar el daño causado por el cambio climático de origen antropogénico y las amenazas para el medio ambiente.

En lo que va transcurrido de este siglo los Premios Nobel de la Paz concedidos hasta el presente han sido:

- 2000: Kim Dae Jung (Corea del Sur). Por su trabajo en pro de la democracia y los derechos humanos en Corea del Sur y en Asia Oriental en general, y particularmente por la paz y reconciliación con Corea del Norte.
- 2001: Organización de las Naciones Unidas (ONU) y Kofi Annan (Ghana). Por su trabajo para un mundo mejor organizado y más pacífico.
- 2002: Jimmy Carter (Estados Unidos). Por sus décadas de esfuerzo incansable para encontrar soluciones pacíficas a los conflictos internacionales, y promover la democracia y los derechos humanos, así como para promover el desarrollo económico y social.
- 2003: Shirin Ebadi (Irán). Por sus esfuerzos por la democracia y los derechos humanos, especialmente en la lucha por los derechos de las mujeres y los niños.
- 2004: Wangari Muta Maathai (Kenia). Por su contribución para el desarrollo sostenible, la democracia y la paz.

- 2005: Organismo Internacional de la Energía Atómica (Austria) y Mohamed El-Baradei (Egipto). Por sus esfuerzos para prevenir el uso de la energía nuclear con fines militares, y que su uso con fines pacíficos lo sea de la manera más segura posible.
- 2006: Muhammad Yunus y Banco Grameen (Bangladés). Por promover oportunidades económicas y sociales para los pobres, especialmente las mujeres, a través de su proyecto pionero del microcrédito.
- 2007: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Suiza) y Al Gore (Estados Unidos). Por sus esfuerzos para construir y difundir un mayor conocimiento sobre el cambio climático provocado por el hombre, y para sentar las bases de las medidas necesarias para contrarrestar ese cambio.
- 2008: Martti Ahtisaari (Finlandia). Por sus importantes esfuerzos, en varios continentes y durante más de tres décadas, para resolver los conflictos internacionales.
- 2009: Barack Obama (Estados Unidos). Por sus extraordinarios esfuerzos para fortalecer la diplomacia internacional y la colaboración entre los pueblos.
- 2010: Liu Xiaobo (China). Por su lucha no violenta y duradera por defender los derechos humanos fundamentales en China.
- 2011: Ellen Johnson-Sirleaf (Liberia), Leymah Gbowee (Liberia) y Tawakkul Karman (Yemen). Por su lucha no violenta por la seguridad de las mujeres y los derechos de las mujeres a la plena participación en la obra de construcción de la paz.
- 2012: Unión Europea (UE). Por su contribución durante seis décadas al avance de la paz y la reconciliación, la democracia, y los derechos humanos en Europa.
- 2013: Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (Países Bajos). Por sus grandes esfuerzos para eliminar las armas químicas.



# Premio Nobel de Economía 2013

## LA VALORACIÓN DE ACTIVOS

Rafael Morales-Arce Macías



Eugene F. Fama



Lars Peter Hansen



Robert J. Shiller

### ■ Introducción

La Academia Sueca hizo público el 14 de octubre de 2013 la proclamación de los Premios Nobel de Economía correspondientes a este ejercicio. Tan importante distinción ha recaído en los ciudadanos norteamericanos Eugene F. Fama, Lars Peter Hansen y Robert J. Shiller, por sus aportaciones a los procesos de determinación de los precios de los activos, en especial, los de naturaleza económico-financiera<sup>(1)</sup>.

La Academia ha valorado la dificultad de predicción de los precios de dichos activos, debido, de una parte, a las fluctuaciones y fricciones en los mercados, y, de otra, a los comportamientos de los actores que en ellos actúan.

Tales premios se financian por el Banco de Suecia y se conocen con la denominación oficial como “The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences”, en memoria de Alfred Nobel, y están dotados con la suma de ocho millones de

coronas suecas (unos 920.000 euros) que suelen entregarse el 10 de diciembre siguiente en una solemne ceremonia en la capital, Estocolmo, que preside el Rey de Suecia.

Con este proceso se cierra el ciclo de concesión anual de los seis galardonados que hoy lo integran, los de Medicina y Fisiología, Física, Química, Literatura y Paz.

## ■ Los galardonados

El primero de ellos, **Eugene F. Fama**, nacido en Boston (USA) en 1939, actualmente es profesor emérito en la Universidad de Chicago, de manera principal en la disciplina de finanzas, en la que se ha distinguido por el rigor empírico y científico en el análisis de las inversiones.

Fama es uno de los principales valedores de la Hipótesis del Mercado Eficiente<sup>(2)</sup>, que, aunque siempre ha sido objeto de importantes críticas, especialmente, en los períodos de crisis económica, genera una aportación fundamental al considerar que los mercados financieros operan de forma racional y valoran los activos en su valor intrínseco, siempre que se disponga de toda la información pública requerida. En definitiva, el precio de un activo descuenta todas las variables que se conocen en ese momento, por lo que el cambio en los precios puede imputarse a un cambio en la información que afecta al bien considerado.

La asociación de beneficio esperado y riesgo asumido, tan importante en la gestión de carteras, como el conjunto de sus publicaciones –dos libros de texto y más de cien artículos en revistas de calidad– le acreditan como uno de los economistas teóricos más citados.

**Lars Peter Hansen**, nacido en 1952 en Urbana, Illinois, es Licenciado en Matemáticas por la Universidad estatal de Utah y Doctor en Economía por la Universidad de Minnesota, en la que desempeñó la actividad académica hasta el año 1987, en que fue nominado para la Cátedra de Economía Financiera y Estadística en la Universidad de Chicago.

Hansen se ha distinguido por sus investigaciones en el campo de la Estadística y la Econometría, siendo una de sus principales aportaciones su teoría sobre los estimadores (*Generalized Method of Moments Estimators*, GMM)<sup>(3)</sup> introducida en

1982, de general aplicación en el campo de la Macroeconomía para los análisis de datos económicos y financieros.

Por otra parte, a Hansen se le considera un especialista en las aplicaciones de sus descubrimientos a la Economía del Trabajo, Finanzas Internacionales y a las repercusiones del riesgo sistémico en la crisis financiera de 2008.

Sus investigaciones actuales incluyen trabajos sobre el equilibrio rentabilidad-riesgo a largo plazo, en las que ha contado con la colaboración de S. Scheinkman, así como en el examen de la estructura temporal de los riesgos de precio en los modelos macroeconómicos dinámicos.

Igualmente, ha colaborado con el también Nobel Thomas Sargent en las denominadas “teorías de la robustez”, centradas en la búsqueda de relaciones entre las decisiones derivadas de los modelos dinámicos y su vinculación con los resultados. Con Sargent ha profundizado en otras cuestiones, tales como la diferencia entre los conceptos de riesgo e incertidumbre y la medición del riesgo sistémico en el contexto de la crisis financiera de 2008.

Aparte de estas actividades, es Director de The Becker Friedman Institute por Research in Economics (el antiguo Milton Friedman Institute), ocupado, entre otras tareas, en el equipo de Modelos Macro-financieros, una red de macroeconomistas interesados en el enlace entre las finanzas y el sector de la economía real, en especial, desde la crisis financiera de 2008.

Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias y presidió Econométrica en el año 2007.

Hansen fue galardonado por la Fundación BBVA en 2010 con el Premio “Fronteras del Conocimiento”, una distinción que se polariza en las aportaciones en el campo de la Economía, Finanzas y Gestión de Empresas.

Por último, **Robert J. Shiller**, nacido en 1946 en Detroit, se graduó a mediados de los años sesenta y obtuvo un Master por la Universidad de Michigan en 1967, así como un Doctorado por el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) en 1972. En la actualidad es profesor de Economía en la Cátedra Arthur M. Okun, de la Fundación Cowles para la investigación económica. Paralelamente, trabaja en el Centro Internacional de Recursos Financieros de la Universidad de Yale. Es co-

fundador de dos compañías que se dedican a la gestión de la seguridad económica en Estados Unidos: Macro Markets LLC y Macro Financial LLC.

Shiller, al igual que Fama, era candidato al Premio desde hace muchos años. No en vano se había distinguido por sus investigaciones acerca del comportamiento tanto de los mercados inmobiliarios como los financieros. Criticó en su día la evolución de las empresas de nuevas tecnologías, las conocidas como “punto. com”, asegurando, como así se demostró, que la cotización de sus acciones no podía estar creciendo indefinidamente. Su obra “Exuberancia irracional”<sup>(4)</sup> editada en español, ofrece una amplia explicación de tal asimetría.

En 2008 anticipó algunas soluciones a los problemas de las hipotecas “subprime”, como antesala de su publicación estrella “Animal Spirits”<sup>(5)</sup> que protagonizó junto a George A. Arkelof, que fuera Premio Nobel en 2001, al que nos referiremos posteriormente.

En 2012, Shiller presentó en la Fundación Rafael del Pino su última obra “Las finanzas en una sociedad justa”, en la que sostenía la necesidad de dejar de condenar a los sistemas financieros, añadiendo que deberíamos buscar su recuperación, ya que juegan un papel esencial e insustituible en el sistema económico, papel que se pone de manifiesto en la actual crisis, que ha resaltado sus principales fallos e imperfecciones, fallos que llevará décadas corregirlos. Buena prueba de ello son las actuales controversias en el seno de la Comisión Europea sobre la reforma del sistema bancario, en la que los países más relevantes no se ponen de acuerdo sobre la oportunidad de poner en marcha las instituciones que deberían tener la capacidad de anticipar, tanto los problemas que se generan en los mercados como los instrumentos que aseguren su normal funcionamiento.

Por otra parte, estima que el proceso de innovación financiera se intensificará en los próximos años, pero que deberá contener mayores dosis de racionalización y sentido humano, dando entrada al mayor número posible de aportaciones procedentes de diferentes campos de la sociedad.

Finalmente, y en relación al mercado inmobiliario, señalar la importante colaboración de Shiller con la Agencia de Calificación norteamericana S&P en la elaboración de Informes mensuales sobre el precio de la vivienda en Estados Unidos. El índice S&P Case-Shiller es uno de los más citados en el país pues recoge el cambio en el precio de la vivienda en sus veinte principales áreas metropolitanas.

## ■ La eficiencia de los mercados

En el argot de los mercados financieros, la eficiencia se asocia a una serie de factores que no son otra cosa que la aplicación de los principios generales de funcionamiento de los mercados. Para Foster<sup>(6)</sup> un mercado es “eficiente” cuando se dan tres circunstancias básicas: a) que exista homogeneidad del producto que se intercambia; b) que exista un elevado número de compradores y vendedores y, finalmente, c) que exista una cierta facilidad tanto para entrar como para salir del mercado.

La esencia del Análisis Fundamental, por su parte, se basa en el concepto de “valor intrínseco” de un título, como parámetro objetivo extraído de una serie de condiciones que afectan al funcionamiento de la sociedad que lo emite: proyectos en curso; resultados conseguidos; dividendos generados; grandes inversiones realizadas; coyuntura económica en que se estaba inmerso, etc., que, normalmente, no son valoradas de la misma forma por inversores diferentes. El Análisis Técnico, la otra herramienta para el estudio de los mercados de valores, se aproxima a dicho “valor intrínseco” a través de lo que se conoce como área de congestión de los gráficos de puntos y figuras. No existe unanimidad para deducir dicho “valor intrínseco”, aunque existe la creencia de que cuando se está operando en un mercado eficiente, todas las valoraciones que se hacen del título deben constituir una especie de nube de puntos alrededor de dicho valor.

Por eso, todas las corrientes de opinión coinciden en afirmar que si las diferencias entre el precio de una acción y su valor intrínseco son de naturaleza determinista, los que manejan el término irán realizando una serie de “ajustes” conforme procesan información sobre el mismo, haciendo que los precios se vayan desplazando para adaptarse al nuevo “valor intrínseco” que se infiere de los nuevos datos. Fama<sup>(7)</sup> califica a dicho ajuste como “ajuste instantáneo”, indicando que el intervalo de tiempo entre dos ajustes sucesivos en el precio del título, es una variable aleatoria de carácter independiente, lo que implica que las series históricas construidas con los precios de los mismos, en rigor, no pueden permitirnos su utilización en el proceso de acercamiento a la evolución de los cambios futuros. O dicho de otra forma, que si el mercado es “eficiente” ello lleva consigo que los precios futuros son independientes de los precios del pasado. Por ello denominó a ese mercado como de “recorrido aleatorio” (random walk market).

Desde una perspectiva diferente, aunque con algunas coincidencias de fondo, Samuelson<sup>(8)</sup>, también Premio Nobel, elaboró su teoría del “mercado eficiente”



señalando que ello sucedía cuando: a) no existían costes de transacción; b) toda la información sobre los acontecimientos que se proyectaron sobre los mercados era gratuita y c) todos los participantes de la misa tuvieran igual horizonte económico y unas expectativas homogéneas sobre el comportamiento de los precios. Con estas hipótesis, calificadas como muy duras para definir la eficiencia del mercado, los precios debían evolucionar de forma aleatoria.

Otras concepciones del mercado eficiente se refieren a hechos más puntuales, aunque no por ellos de menor rigor. A.S. Suárez<sup>(9)</sup> sostiene que la eficiencia depende de una serie de factores tales como: la regularidad y la existencia de un volumen mínimo de contratación del valor; la existencia de una amplia información económica-financiera sobre la empresa; la relación de valores cotizables, que ofrezca al inversor amplias posibilidades de aplicar sus recursos; la capacidad de transferir los títulos con una cierta agilidad en la liquidación de la operación; la estructura de la distribución de los títulos; la normalización de las operaciones, sin olvidar, por otra parte, la existencia de una moderada especulación que contribuya a impulsar la función de liquidez que debe tener todo mercado de valores.

En cualquier caso, y de acuerdo con la posición de Suárez<sup>(10)</sup>, la eficiencia se nos presenta en tres niveles o hipótesis:

- a) *Débil*: cuando las series históricas de cotizaciones no contienen información que permita utilizarse para obtener una rentabilidad superior a la que podría conseguirse con una cartera de valores elegida al azar.
- b) *Intermedia*: cuando se admite que los precios de los mercados de valores reflejan toda la información relativa a la empresa, el sector, etc., y que son públicos y notorios todos los factores que afectan al valor intrínseco del título.
- c) *Fuerte*: considerada como la más exigente, basándose en que ningún inversor pueda obtener en el mercado una rentabilidad superior a la que obtiene un inversor “medio” con una cartera “aleatoria”, o, dicho de otra forma, que no existe nadie con acceso a información especial, bien porque esta no existe o porque si existiera no estaría disponible para los demás agentes del mercado.

En definitiva, y tras estas consideraciones, llegamos a la conclusión que la aceptación de la hipótesis del mercado eficiente deja en entredicho la utilidad del Análisis Técnico –ya que según las versiones dadas, el mercado “descuenta” toda

la información histórica–, así como la del Análisis Fundamental, pues la eficiencia lleva consigo el que se “descuento”, igualmente, toda la información no ya del mercado, sino de la marcha interna de la sociedad emisora del título, dejando abierta una polémica que sigue viva y que servirá para aclarar y profundizar sobre esta importante cuestión del funcionamiento de los mercados financieros<sup>(11)</sup>.

## ■ El apoyo de la estadística y la econometría

Estadística y Econometría han facilitado un considerable acercamiento a los procesos de estimación del valor de activos materiales, especialmente, los de naturaleza financiera (acciones, obligaciones, bonos y derivados sobre bienes raíces). La técnica del Método Generalizado de Momentos, en la que Hansen ha tenido un especial protagonismo, permite interpretar hechos económicos bajo ciertas condiciones, incluida la de máxima verosimilitud.

Tal método es una herramienta intuitiva y simple que permite la obtención de estimadores. Para ello, se trata de equilibrar los momentos poblacionales –en función de parámetros que tratan de estimarse– con los momentos muestrales, que nos permitirán acercarnos al valor de activo que buscamos. Ello implica que la esperanza de una variable aleatoria se estime por la media muestral, y, la varianza, por su parte, por la varianza muestral.

Aunque el método permite obtener estimadores consistentes, tienen el inconveniente de no ser centrados ni eficientes, lo que conduce, en algunos casos, a la obtención de valoraciones poco rigurosas.

En cualquier caso, el método es utilizado ampliamente para analizar las fluctuaciones en los precios de los activos financieros.

## ■ La influencia del comportamiento humano

Robert J. Shiller ha destacado por una aportación fundamental: la importancia que tiene el comportamiento humano en la toma de decisiones de carácter económico. La obra “Animal Spirits”, escrita junto a George Arkelof, Premio Nobel en 2001, resume, en buena parte, la esencia de su pensamiento.

Este último, en una conferencia desarrollada en noviembre de 2009 en la madrileña Fundación Rafael del Pino, sostenía que buena parte de las decisiones se basan en hipótesis no ciertas, que se formulan en entornos supuestamente caracterizados por información perfecta, olvidando que la Psicología, como ciencia que estudia el comportamiento de las personas, juega un papel fundamental en la formación de los precios de los activos.

Crítica, igualmente, que cuando se formulan objetivos de política monetaria para determinar los precios de los activos, se utiliza habitualmente una cesta con los precios de bienes de consumo, en vez de precios de activos de carácter significativo. Algunos de tales bienes no son otra cosa que artículos muy sofisticados, que no se entienden por el gran público, pero que se comercializan con grandes márgenes, poniendo de manifiesto la existencia de una clara información asimétrica. En tal información se encuentra alguno de los orígenes de la actual crisis.

Los economistas tradicionales sostenían que la Economía estaba gobernada solo por actores racionales, que, como una “mano invisible” deseaban emprender actividades comerciales destinadas al logro de un beneficio económico mutuo. Keynes “ya se había percatado que, aunque la mayor parte de las actividades económicas suelen tener motivaciones racionales, también existen otras muchas actividades que están gobernadas por “espíritus animales”, ya que los estímulos que mueven a las personas no siempre son económicos ni su comportamiento es racional cuando persiguen este tipo de intereses. Según tal punto de vista, tales “espíritus” son la causa principal de las fluctuaciones de la economía y constituyen, asimismo, la causa principal del desempleo involuntario.

Por tanto, agregaban, para comprender la economía, “conviene entender de qué modo se ve afectada por estos *espíritus animales*. Al igual que la *mano invisible* de Adam Smith representa la idea central de la economía clásica, los *espíritus animales* de Keynes constituyen la clave de otra visión diferente de la economía, una perspectiva que explica las inestabilidades que subyacen en el capitalismo”<sup>(12)</sup>.

En definitiva, si queremos completar nuestra percepción sobre los mercados y la formación de los precios de los activos que en ellos se comercializan, no debe olvidarse que los agentes no solo tienen motivaciones económicas, sino comportamientos derivados de su espíritu animal. De aquí que asistamos a una progresiva evolución de la denominada “economía conductual”, que, en opinión de los autores, podría ayudar a superar la situación de crisis mundial, evitando, ante el

proceso de colapso de algunos mercados, que nos acerquemos a su descomposición total.

No pretenden ni Arkelof ni Shiller dar respuestas detalladas con las soluciones a los problemas inherentes a la evolución del precio de los activos, sino algo muy importante: que las decisiones que se adoptan en este campo, se fundamenten exclusivamente en motivaciones económicas. Han de complementarse con una comprensión detallada de la confianza, la equidad, las derivaciones de los casos de corrupción y de la ilusión monetaria, así como las innumerables historias orales que percibimos continuamente. La solución a los problemas económicos, concluyen, solo puede conseguirse si respetamos nuestra ideología y nuestra política sobre los espíritus animales que subyacen en las decisiones<sup>(13)</sup>.

## ■ La valoración de los medios

Los medios de comunicación han acogido de manera desigual la trascendencia de las aportaciones de los galardonados. Tan solo Shiller, y, en menor medida, Fama, figuraban en las “quinielas” que anticipaban el acuerdo del Comité del Nobel, que, como se ha señalado, reconocía que se ha distinguido, en la misma edición, a teorías “sorprendentes y contradictorias”.

Para A. Bolaños debe diferenciarse a Fama, como un teórico de la racionalidad de los mercados, de Shiller, que asevera que los inversores se comportan de forma irracional, considerando, además, que la Economía es la única disciplina en la que dos personas pueden ganar un Nobel por decir cosas opuestas<sup>(14)</sup>.

Cluster Family Office, por su parte, considera que ha sido desconcertante la concesión del Nobel de 2013. Aparte su consideración que los actos humanos, en conjunto, son esencialmente ineficientes, irracionales e incorrectos y, todos ellos, se trasladan a los precios, ha puesto de manifiesto la dualidad irreconciliable entre el Análisis Técnico y el Fundamental. Considera, por otra parte, que a Fama deberían haberle distinguido por otras aportaciones, pero no por la Hipótesis del Mercado Eficiente<sup>(15)</sup>.

Calvo estima que el Premio Nobel de Economía es el “menos” Nobel de todos los seis galardones que se conceden anualmente. Nos recuerda que, en sentido estricto, el Premio se conoce oficialmente como “Precio en Ciencias Económicas

del Banco de Suecia en honor de Alfred Nobel”, y, confirma otras valoraciones que consideran que la Economía es la ciencia en que dos personas que afirman lo contrario pueden tener razón y... ganar el Nobel. Y que por encima de las discrepancias que puedan existir entre Fama y Shiller, lo que se premia es la contribución que ha supuesto la investigación de ambos para aproximarnos mejor al conocimiento del precio de los activos<sup>(16)</sup>.

J. C. Díez, por su parte, lo califica como “un Nobel muy familiar”. Sostiene que el modelo de valoración de activos de Fama es lineal, y la realidad de los mercados no lo es. Es caótica, como la naturaleza y el comportamiento humano. Crítica, por otra parte con la posición de Fama, que entiende que los movimientos en los precios se derivan de la propia naturaleza del mercado o de las decisiones de las autoridades. Respecto de Shiller, se muestra muy de acuerdo a su posición, en especial, por los modelos desarrollados para la explicación de las “burbujas” y el comportamiento humano que de ellas se derivan; su teoría sobre la diferencia entre valor y precio y la elaboración de las teorías de precios de los activos en horizontes de largo plazo. En todo caso, estima que ambas aportaciones sirven para que se recupere la credibilidad de la sociedad en el papel de los economistas<sup>(17)</sup>.

Para el diario económico Expansión, los galardonados han sentado las bases para la comprensión actual de los precios de los activos, en especial, al relacionarlos con las fluctuaciones del riesgo y el sesgo del comportamiento ante las fricciones del mercado. Considera que los trabajos de Fama, desde los años sesenta, confirman que los precios anteriores de los activos tienen poca importancia para predecir la rentabilidad en un futuro inmediato. Por otra parte, estima que Hansen, con su método generalizado de momentos (GMM), ha explicado la incapacidad del CAPM (*Capital Asset Pricing Model*), que relaciona el precio de los activos con las decisiones de los individuos, mostrándose más acorde con la posición preliminar de Shiller, que atribuye tal conexión con factores de otra naturaleza<sup>(18)</sup>.

López, en su análisis “Mercados Eficientes” y “animal spirits”, estima que los galardonados han realizado importantes aportaciones a la valoración de activos bajo diferentes perspectivas. En particular, se refiere a Fama y Shiller, a los que presenta como generadores de contribuciones aparentemente opuestas sobre los precios en los mercados financieros. Respecto del primero, cree que el denominado “valor intrínseco” de un título refleja la mejor predicción posible en cada momento, y, que el precio a futuro, es impredecible e independiente del actual porque depende del flujo de noticias en torno al mismo. Considera que es “alea-

torio” y sigue alguna distribución en probabilidad que nos permite esperar una rentabilidad (media de la distribución) y un riesgo (desviación típica) para cada uno de los activos que se consideran. En relación a Shiller, estima que parte de la idea de que los mercados, en ocasiones, muestran un comportamiento irracional, derivado de los “animal spirits” de los inversores, respondiendo a factores más emocionales e intuitivos que al cálculo de probabilidades futuras. Por ello, hay situación de sobrevaloración –burbujas– e infravaloraciones que contradicen la Hipótesis del Mercado Eficiente y que, por tanto, responden a la naturaleza humana o la Psicología. La confianza y el miedo, concluye, juegan un papel esencial en la formación de los precios, dando lugar a alteraciones que superan la racionalidad. Se muestra en una posición clara a favor de Shiller<sup>(19)</sup>.

Las páginas económicas de *El País* insisten en el reconocimiento de teorías contradictorias sobre la formación de los precios en los mercados financieros. Recuerda, a este respecto, como ya lo hiciera el también Nobel, Paul Krugman al criticar a Eugene Fama, al que afeó que utilizara la palabra “burbuja”, que parecía sacarle de quicio. Respecto de Shiller, se muestra crítico por su posición de defensa de los efectos “rebaño y miedo” en relación a la propiedad de generar burbujas, así como que factores psicológicos e irracionales puedan influir en la toma de decisiones económicas. Dos muestras claras del talante polémico de Krugman, que, no obstante, y respecto de Hansen, destaca la creación del Método Generalizado de Momentos, concluyendo que mientras Fama y Shiller “ponen las tesis”, Hansen aporta las “herramientas” que evalúan la forma de actuar de los agentes económicos<sup>(20)</sup>.

Una calificación similar sobre el superior carácter técnico de Hansen se recoge en la edición digital de *El Mundo*. Estima que las aportaciones de los galardonados son fundamentales para la aproximación al precio de los activos, destacando la posición de Shiller, en especial, cuando introduce factores sociales, históricos y culturales para explicar el comportamiento de los mercados. Y, de manera particular, que el precio de los títulos bursátiles no venga solamente condicionado por los rendimientos que generan, sino por el conjunto de los factores citados<sup>(21)</sup>.

## ■ Reflexión final

Como es evidente, estamos ante unos galardones que vienen condicionados por las contradicciones sobre el carácter de la Economía, disciplina que, frente a

las de notorios fundamentos científicos que ofrecen las experimentales o puras, como la Física o Química, debe aceptar una especial influencia de factores relativos al comportamiento humano en las decisiones económicas. Por ello, el propio Comité asumía el reconocimiento a posiciones contrapuestas en la concesión del Premio en 2013.

Estimamos acertada tal posición, puesto que:

- Tiene una justificación científica el que se incluya en las previsiones, aparte de factores de naturaleza económica, otros que no lo son, pero que están basados en la lógica y la racionalidad. No podemos aceptar esta posición como errónea, pues el ser humano que toma decisiones obra, igualmente, a impulsos que tienen su origen en disciplinas psicológicas y sociales.
- Los hechos económicos a los que venimos asistiendo en los últimos años muestran una cierta conformidad con esta posición. El propio Shiller ya anticipó la llegada de la “burbuja financiera” antes de su aparición oficial. Cualquier manual clásico de Teoría Económica reconoce como uno de los factores determinantes de la demanda, aparte del precio del bien; del de los bienes complementarios o sustitutivos del mismo y del nivel de renta del consumidor, el propio comportamiento del mismo, factor que se considera crucial en algunas decisiones financieras.
- En todo caso, hemos de admitir que el cálculo de los precios de los activos viene caracterizado por una fuerte complejidad. Las aportaciones de los galardonados ayudan a tener instrumentos que facilitan la estimación, aunque tenemos serias reservas acerca de la opinión de que, a corto plazo, sea más difícil realizar una previsión que a un horizonte más dilatado.
- Por otra parte, y confirmando lo indicado en el anterior párrafo, las aportaciones no son otra cosa que ayudas para prevenir los precios, pero no la exactitud de los mismos, incluso habiendo sido formuladas por personas que han acreditado un currículo valioso ante el Comité del Nobel. No debe olvidarse que investigadores reconocidos anteriormente, como el caso de Robert Merton o Myron Scholes, premiados en 1997, protagonistas de una importante aportación al cálculo del precio de una opción, hoy reconocida entre los estudiosos de la Teoría Financiera, tuvieron un comportamiento atípico en la gestión del *Long Term Capital Management* (LTCM), un fondo de inversión que habiéndose

distinguido por fulgurantes éxitos iniciales, fue declarado en quiebra en 1998, sorprendiendo en los mercados por su abultado volumen de pérdidas, unos 5.000 millones de dólares. Las mismas habrían tenido su origen en una gestión inadecuada, hecho que podría imputarse tanto a las vulnerabilidades de la técnica de valoración que se había utilizado como al comportamiento humano de los gestores del mismo. Sin olvidar que la especulación exagerada podría haber estado presente en este episodio.

- Los comentaristas de este Premio se han mostrado más de acuerdo con Shiller que de Fama o Hansen. Pero han destacado, por otra parte, el reconocimiento que el primero hacía sobre la evolución futura del precio de los activos. En un discurso pronunciado horas después de la concesión del Premio<sup>(22)</sup>, le preguntaban sobre los efectos que tendría la falta de acuerdo entre republicanos y demócratas sobre el techo de gasto en el presupuesto norteamericano. Su respuesta fue: “No lo sé. Yo no conozco el futuro y puedo estar equivocado”. Lo que no es óbice para que predijera tanto el desplome de las compañías punto.com, ya en el año 2000, o la “burbuja inmobiliaria” cinco años después.
- Sorman, por su parte, destaca el rigor metodológico habitual en los tres galardonados, que generan ideas a partir de hechos probados y estadísticas verificadas, sosteniendo que la ciencia económica se ha tornado totalmente liberal cuando analiza los comportamientos reales de los agentes en los mercados, eludiendo los comportamientos teóricos o deseables. La Economía es cada vez más racional, y, aún teniendo las limitaciones propias de todas las ciencias humanas, contribuye de manera efectiva al mayor bienestar de la humanidad. En su opinión, muchas áreas del mundo han salido de la pobreza porque sus autoridades, aprovechándose de las aportaciones de esta ciencia, evolucionaron de las economías cerradas a las de mercado abierto. El único valor económico real, concluye, solo se genera en las empresas, en especial, cuando tienen una estrategia de actuación a largo plazo y la siguen a rajatabla sin prestar oídos a “alegrías” puntuales<sup>(23)</sup>.
- Volviendo a la metodología para la aproximación a la estimación de los precios de los activos, en especial, cuando nos enfrentamos a decisiones de inversión financiera, hemos de recordar las aportaciones de Palacios, que nos recuerda, con bastante sentido práctico, que invertir bien no consiste en tener grandes aciertos, sino más bien en no cometer errores. Por ello, es bueno recordar algunos de los principios que recomienda para ello:



“DIVERSIFICAR, para tratar de eliminar el denominado riesgo no sistemático, que es un riesgo malo, frente al riesgo sistemático, que es el que corresponde al mercado. Una cartera bien diversificada elimina siempre el primero de ellos.

RACIONALIZAR GASTOS, lo que implica que, al realizar una inversión, se reduzca o elimine cualquier tipo de comisión de intermediación o gasto derivado de ella.

PERSONALIZAR, que significa una distinción clara de si, al invertir, estamos actuando solo como “inversores” en sentido estricto, o, simplemente, “especuladores”. Y, finalmente,

PONER EN CONTEXTO, esto es, delimitar si somos inversores activos o pasivos. Los primeros buscan batir al mercado porque creen que tienen información que no está descontada en los precios, y, para ello, hacen apuestas contra el consenso general. Los gestores pasivos, por su parte, piensan que el mercado es eficiente y solo aspiran a replicar su rentabilidad<sup>(24)</sup>”.

Una posición que hemos de interpretar más próxima a las tesis de Fama que a las Arkelof y Shiller, que la complementarían con consideraciones no económicas que permitieran incluir aspectos fundamentales de la perspectiva humana de los inversores<sup>(25)</sup>.

No hay, pues, una doctrina única y exclusiva para aproximarnos a la evolución futura de los precios de los activos, antes al contrario, son muchas las aportaciones que hemos de tomar en consideración para fundamentar racionalmente nuestras decisiones. Como en cualquier otro orden de la actividad humana.

## ■ Referencias bibliográficas

- (1) Comunicado del Comité de los Premios Nobel 2013. Estocolmo, 14 de octubre de 2013.
- (2) Fama, Eugenio F. (1970). “Efficient Capital Markets: A review of the Theory and empirical work”. *Journal of Finance*. Mayo 1970.
- (3) Hansen, Lars Peter. “Large sample properties of Generalized Methods of Moments Estimators GMM”. *Econométrica*. Volumen 50: 1029-1054.

- (4) Shiller, Robert J. (2003). "Exuberancia irracional". Ediciones Turner. Madrid.
- (5) Arkeloff, George A. y Shiller, Robert J. (2009). "Animal Spirits: Como influye la psicología humana en la economía". Ediciones Gestión 2000. Barcelona.
- (6) Foster, E. H. (1974). "Common Stock Investment". Lexington Books. Londres, 1974. Página 59.
- (7) Fama, Eugene F. (1965). "Random walks in stock markets prices". *Financial Analyst Journal*. Septiembre-octubre, 1965. Página 56.
- (8) Samuelson, Paul S. (1965). "Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly". *Sloan Management Review*. Número 2/1965. Página 41.
- (9) Suárez, A. S. (1974). "Economía de la empresa: Organización y administración". Publicación de la Facultad de Ciencias Económicas. UNED. Madrid, página 41. Unidad Didáctica 3.
- (10) Suárez, A. S. (2003). "Decisiones óptimas de inversión y financiación de la empresa". Ediciones Pirámide. Madrid. Páginas 333-337.
- (11) Morales-Arce, R. (2010). "Finanzas Empresariales". Ediciones UNED. Madrid, 2010. Páginas 479-483.
- (12) Arkelof y Shiller. Obra citada. Página 10.
- (13) Id. Página 288.
- (14) Bolaños, A. (2013). Diario digital *El País*. Madrid, 14 octubre 2013.
- (15) Cluster Family Office. Diario digital *La Vanguardia*. Barcelona, 15 octubre 2013.
- (16) Calvo, P. (2013). Diario *El Confidencial.com*. Madrid, 15 octubre 2013.
- (17) Díez, José C. (2013). Diario *Cinco Días*. Madrid, 16 octubre 2013.

- (18) Expansión.com. Madrid, 15 octubre 2013.
- (19) López, Nicolás (2013). “Mercados eficientes y “animal spirits”. Diario *Expansión*. Madrid, 16 octubre 2013.
- (20) Páginas económicas de *El País*. Madrid, 15 octubre 2013.
- (21) Id. Diario *El Mundo*. Madrid, 15 octubre 2013.
- (22) ABC-Economía. Madrid, 15 octubre 2013. Página 42.
- (23) “Lecciones de los tres Premios Nobel estadounidenses”. Sorman, G. ABC Economía. Madrid, 27 octubre 2013. Página 40.
- (24) Palacios Raufast, J. (2011). “Finanzas Personales: Cuatro principios para invertir bien”. LID Editorial Empresarial. Madrid, 2011. Página 110.
- (25) Morales-Arce, R. (2013). “Las teorías de rediseño de los mercados”. Incluido en la publicación *Los Premios Nobel de Economía 2012*. Mayor Zaragoza, F. y Cascales Angosto, M. Fundación Ramón Areces. Madrid, 2013. Páginas 163-176.

ABC-Economía. Madrid, 15 octubre 2013. Página 42.

Arkeloff, George A. y Shiller, Robert J. (2009). *Animal Spirits: Cómo influye la psicología humana en la economía*. Ediciones Gestión 2000. Barcelona.

Bolaños, A. (2013). Diario digital *El País*. Madrid, 14 octubre 2013.

Calvo, P. (2013). Diario *El Confidencial.com*. Madrid, 15 octubre 2013.

Cluster Family Office. Diario digital *La Vanguardia*. Barcelona, 15 octubre 2013.

Díez, José C. (2013). Diario *Cinco Días*. Madrid, 16 octubre 2013.

*Expansión.com*. Madrid, 15 octubre 2013.

- Fama, Eugenio F. (1970). "Efficient Capital Markets: A review of the Theory and empirical work". *Journal of Finance*. Mayo, 1970.
- Fama, Eugene F. (1965). "Random walks in stock markets prices". *Financial Analyst Journal*. Septiembre-octubre, 1965. Página 56.
- Foster, E. H. (1974). "Common Stock Investment". Lexington Books. Londres, 1974. Página 59.
- Hansen, Lars Peter. "Large sample properties of Generalized Methods of Moments Estimators GMM". *Econometrica*. Volumen 50: 1029-1054.
- López, Nicolás (2013). "Mercados eficientes y "animal spirits". Diario *Expansión*. Madrid, 16 octubre 2013.
- Morales-Arce, R. (2010). "Finanzas Empresariales". Ediciones UNED. Madrid, 2010. Páginas 479-483.
- Morales-Arce, R. (2013). "Las teorías de rediseño de los mercados". Incluido en la publicación *Los Premios Nobel de Economía 2012*. Mayor Zaragoza, F. y Cascales Angosto, M. Fundación Ramón Areces. Madrid, 2013. Páginas 163-176.
- Páginas económicas del Diario *El País*. Madrid, 15 octubre 2013.
- Id. Diario *El Mundo*. Madrid, 15 octubre 2013.
- Palacios Raufast, J. (2011). "Finanzas Personales: Cuatro principios para invertir bien". LID Editorial Empresarial. Madrid, 2011. Página 110.
- Samuelson, Paul S. (1965). "Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly". *Sloan Management Review*. Número 2/1965. Página 41.
- Shiller, Robert J. (2003). "Exuberancia irracional". Ediciones Turner. Madrid, 2003.
- Sorman, Guy (2013). "Lecciones de los tres Premios Nobel Estadounidenses". *ABC-Economía*. Madrid, 27 octubre 2013. Página 40.

Suárez, A.S. (1974). *Economía de la empresa: Organización y administración*. Publicación de la Facultad de Ciencias Económicas. UNED. Madrid, página 41. Unidad Didáctica 3.

Suárez, A.S. (2003). "Decisiones óptimas de inversión y financiación de la empresa". Ediciones Pirámide. Madrid. Páginas 333-337.

## ■ Principales referencias de los galardonados

Destacamos seguidamente las principales aportaciones de los galardonados que tienen relación con la motivación del Premio:

### Eugene F. Fama

*The Theory of Finance*. En colaboración con Miller M. H. Dryden Press. Hillsdale. Illinois, 1972.

*Agency Problems and the Theory of the firm*. Journal of Political Economy. Vol 88.2. 1980.

*Efficient capital markets: A review of the theory and empirical work*. Journal of Finance. Mayo, 1970.

*Risk, return and equilibrium: some clarifying comments*. Journal of Finance. Vol 23.1. Mayo 1968.

*Random walks in stock market prices*. Financial Analyst Journal Sept-Oct, 1965.

### Lars Peter Hansen

*Generalized Methods of Moments: A time series perspective*. International Encyclopedia of the Social and Behavior Sciences. 2000.

*Large sample properties of generalized methods of Moments Estimators*. Econometrica. Vol 50: 1029-1054.

## Robert J. Shiller

*Market Volatility: Un análisis matemático y del comportamiento de las fluctuaciones de los precios en los mercados especulativos.* 1989.

*Macro-markets: "Creating institutions for managing society's. Largest economic risks" a los mecanismos de gestión del riesgo.* 1993.

*Exuberancia irracional*, en la que advirtió el futuro colapso de las compañías que se denominaron "punto.com". 2000.

*Subprime solution: How the global financial crisis happened and what to do about it.* 2008.

*Animal Spirits: Como influye la psicología humana en la economía.* En colaboración con George A. Arkelof, Premio Nobel de Economía 2001. Editada por Gestión 2000. Barcelona, 2009.

## Evolución de Los Premios Nobel

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 (USA)
1971	Simmon KUZNETS (USA)
1972	John HICKS (Gran Bretaña) y Kenneth ARROW (USA)
1973	Wassily LEONTIEF (USA)
1974	Gunnar MYRDAL (Suecia) y Frederick V.HAYECK (Gran Bretaña)
1975	Leonidas KANTOROVICH (URSS) y Tjalling KOOPMANS (USA)
1976	Milton FRIEDMAN (USA)
1977	James MEADE (Gran Bretaña) y Bertin OHLIN (Suecia)

<b>AÑOS</b>	<b>CONCEDIDO A:</b>
1978	Herbert SIMMON (USA)
1979	Theodor SCHULTZ (USA) y Arthur LEWIS (Gran Bretaña)
1980	Lawrence KLEIN (USA)
1981	James TOBIN (USA)
1982	George STGLER (USA)
1983	Gerard DEBREU (USA)
1984	Richard STONE (Gran Bretaña)
1985	Franco MODIGLIANI (USA)
1986	James BUCHANAN (USA)
1987	Robert M. SOLOW (USA)
1988	Maurice ALLAIS (Francia)
1989	Tryvge HAAVELMO (Noruega)
1990	Harry MARKOWITZ, Merton MILLER y William SHARPE (USA)
1991	Ronald COASE (USA)
1992	Gary BECKER (USA)
1993	Douglas NORTH y Robert FOGEL (USA)
1994	John HARSANY, John NASH (USA) y Reinhart SELTEN (Alemania)
1995	Robert LUCAS (USA)
1996	James E. MIRRELES (U.K.) y William VICKREY (USA)
1997	Robert C. MERTON y Myron S. SCHOLES (USA)
1998	Amartya SEN (India)
1999	Robert A. MUNDELL (Canadá)
2000	James J. HECKMAN y Daniel L. McFADDEN (USA)
2001	George A. AKERLOF, Michael SPENCE y Joseph E. STIGLITZ (USA)
2002	Daniel KAHNEMAN (Israel-USA) y Vernon L. SMITH (USA)
2003	Robert F. ENGLE (USA) y Clive W.J. GRANGER (U.K.)
2004	Finn E. KYDLAND (Noruega) y Edward C. PRESCOTT (USA)
2005	Robert J. AUMANN (Israel/USA) y Thomas C. SCHELLING (USA)

<b>AÑOS</b>	<b>CONCEDIDO A:</b>
2006	Edmund S. PHELPS (USA)
2007	Leonid HURWICZ, Eric S. MASKIN y Roger B. MYERSON (USA)
2008	Paul KRUGMAN (USA)
2009	Elinor OSTROM y Oliver E. WILLIAMSON (USA)
2010	Peter A. DIAMOND (USA); Dale R. MORTENSEN (USA); Christopher Antoniou PISSARIDES (UK-Chipre)
2011	Thomas J. SARGENT y Cristopher A. SIMS (USA)
2012	Alvin E. ROTH y Lloyds S. SHAPLEY (USA)
2013	Eugene F. FAMA; Lars Peter HANSEN y Robert J. SCHILLER (USA)





[www.fundacionareces.es](http://www.fundacionareces.es)