

María Cascales Angosto  
Federico Mayor Zaragoza  
José Miguel Ortiz Melón  
COORDINADORES



# PREMIOS NOBEL 2017

## COMENTARIOS A SUS ACTIVIDADES Y DESCUBRIMIENTOS

**FISIOLOGÍA O MEDICINA:** Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young

**FÍSICA:** Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne

**QUÍMICA:** Jacques Dubochet, Joachim Frank y Richard Henderson

**LITERATURA:** Kazuo Ishiguro

**PAZ:** La Campaña Internacional para la Abolición de las Armas Nucleares (ICAN)

**ECONOMÍA:** Richard H. Thaler

Premios Nobel  
2017

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto  
José Miguel Ortiz Melón  
Coordinadores

# Premios Nobel 2017

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.

El contenido expuesto en este libro es responsabilidad exclusiva de sus autores.

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

Tomás Bretón, 21 – 28045 Madrid

Teléfono: 915 398 659

Fax: 914 681 952

Correo: [ceresa@ceresa.es](mailto:ceresa@ceresa.es)

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

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

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

Diseño de cubierta: Omnívoros. Brand Design & Business Communication

Depósito legal: M-13833-2018

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35-37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

# ÍNDICE

	<i>Págs.</i>
Agradecimientos .....	7
Ponentes .....	9
Prólogo, <i>Federico Mayor Zaragoza, María Cascales Angosto y José Miguel Ortiz Melón</i> .....	11
Información sobre los Premios Nobel 2017, <i>Federico Mayor Zaragoza, María Cascales Angosto y José Miguel Ortiz Melón</i> .....	17
Premio Nobel de Fisiología o Medicina, <i>José Miguel Ortiz Melón, María Cascales Angosto y Federico Mayor Zaragoza</i> .....	25
Premio Nobel de Física, <i>Rafael Bachiller García</i> .....	47
Premio Nobel de Química, <i>Sebastián Cerdán García-Esteller, María Luisa Gandía González</i> .....	75
Premio Nobel de Literatura, <i>Dámaso López García</i> .....	101
Premio Nobel de la Paz, <i>Federico Mayor Zaragoza</i> .....	131
Premio Nobel de Economía, <i>Rafael Morales-Arce Macías</i> .....	163

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Fundación Ramón Areces, por el patrocinio que viene prestando a la publicación anual sobre los Premios Nobel. A los miembros del Comité Científico de la Fundación, por considerar esta Monografía de interés científico y cultural.

Reconocemos con gratitud la labor eficiente y entusiasta de los doctores Rafael Bachiller García, Sebastián Cerdán García Esteller, Rafael Morales-Arce Macías, María Luisa Gandía González y Dámaso López García. Todos ellos de manera desinteresada han colaborado en esta obra y han realizado los capítulos relativos a cada Premio Nobel, comentando magistralmente los descubrimientos y actividades de los galardonados.

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto  
José Miguel Ortiz Melón  
Madrid, enero 2018

# PONENTES

## 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



## María Cascales Angosto

Doctora en Farmacia y Doctora *ad honorem* del CSIC

Académica de Número de las RRAA Nacional de

Farmacia y de la de Doctores de España

cascales1934@gmail.com



## Sebastián Cerdán García-Esteller

Profesor de Investigación del CSIC

Académico de Número

de la Real Academia Nacional de Farmacia

scerdan@iib.uam.es



## María Luisa Gandía González

Facultativo Especialista en Neurología

Hospital Universitario “La Paz”, Madrid

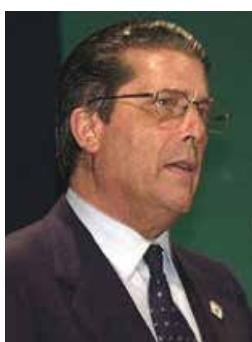
mlgandia@iib.uam.es





**Dámaso López García**

Doctor en Filosofía y Letras  
Catedrático de Filología Inglesa  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
dlopez@filol.ucm.es



**Federico Mayor Zaragoza**

Doctor en Farmacia  
Catedrático de Universidad (UAM)  
Académico de Número de las RRAA de Farmacia  
y Medicina, y Honorario de Bellas Artes  
Director General de la UNESCO (1987-1999)  
Presidente del Consejo Científico de la Fundación  
Ramón Areces  
Presidente de la Fundación para una Cultura de Paz  
f.mayor@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  
rafaelmoralesarce@hotmail.com



**José Miguel Ortiz Melón**

Doctor en Farmacia  
Profesor Emérito de la Universidad de Cantabria  
Académico de Número de la Real Academia  
Nacional de Farmacia  
ortizjm@unican.es

# PRÓLOGO

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto  
José Miguel Ortiz Melón

## **Premios Nobel 2017: comentarios a sus actividades y descubrimientos**

Como en años anteriores, la Fundación Ramón Areces se honra hoy en publicar una monografía sobre los Premios Nobel 2017, titulada “Premios Nobel 2017: comentarios a sus actividades y descubrimientos”, que, contiene capítulos correspondientes a los Premios Nobel que se otorgaron el pasado mes de octubre y se han entregado con toda solemnidad el 10 de diciembre de 2017. Los Premios Nobel de Fisiología o Medicina, Física, Química, Literatura, Paz y Economía, suponen el máximo reconocimiento para científicos, escritores y asociaciones de la Paz, que han sido distinguidos en 2017 por sus contribuciones al progreso, bienestar y seguridad de la Humanidad en sus destacadas trayectorias.

De los seis premios otorgados, cinco de ellos, Física, Química, Fisiología o Medicina, Literatura y Economía, se entregaron en una ceremonia solemne por el Rey de Suecia en la Sala de Conciertos de Estocolmo. El Premio Nobel de la Paz se entregó en el Parlamento de Oslo en presencia de los Reyes de Noruega, por la Presidente del Comité Noruego del Nobel. Ambas ceremonias se celebran cada año el 10 de diciembre de 2017, fecha del aniversario de la muerte de Alfred Nobel.

## Fisiología o Medicina

La lista de los laureados comenzó a desvelarse el lunes 2 de octubre de 2017, cuando la Asamblea Nobel del Instituto Karolinska de Estocolmo dio a conocer a los galardonados con el *Premio Nobel de Fisiología o Medicina*, tres científicos estadounidenses por sus trabajos sobre el reloj biológico. La Academia de Ciencias Sueca ha premiado a Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young, “por sus investigaciones sobre la adaptación del cuerpo a los ciclos del día y la noche, así como los trastornos del sueño, y por descubrir los mecanismos moleculares que regulan el ritmo circadiano”. El ritmo circadiano es una de las funciones vitales primordiales en los seres vivos multicelulares, que regula el sueño, el comportamiento de los nutrientes, la presión arterial y la temperatura corporal. A partir de la observación en la mosca de la fruta, Jeffrey C. Hall y Michael Rosbash, de la Universidad Brandeis de Boston y Michael W. Young, de la Universidad Rockefeller de Nueva York, aislaron en 1984 un gen que controla este ritmo biológico. Más tarde, Hall y Rosbash demostraron que ese gen codifica una proteína que se acumula en las células durante la noche, y se degrada durante el día. En 1994, Michael Young identificó un segundo gen del reloj biológico que es esencial para la regulación del ritmo circadiano. Con estas investigaciones se ha revelado el papel fundamental de estos mecanismos en la salud, la enfermedad y la esperanza de vida, así como las consecuencias del trabajo nocturno a largo plazo.

Rosbash, de 73 años, nació en Missouri y obtuvo su doctorado en 1970 en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Cambridge (EE.UU.). Hall, de 72 años, nació en Nueva York e hizo parte de su carrera en la Universidad Brandeis. Michael Young, de 68 años, es originario de Miami, y desde 1978 es profesor en la Universidad Rockefeller de Nueva York.

## Física

El 3 de octubre de 2017, la Academia Sueca de las Ciencias otorgó el *Premio Nobel de Física* a los científicos estadounidenses Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne por su “decisiva contribución al detector de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser (LIGO) y la observación de dichas ondas gravitacionales”. La Real Academia Sueca explica que los tres galardonados han contribuido con su entusiasmo y determinación a poner en marcha el LIGO, iniciativa que detectó por primera vez esas ondas. Tras cuatro décadas de esfuerzos, este proyecto en el que

colaboran unos mil científicos de una veintena de países, observó por primera vez, el 14 de septiembre de 2015, este fenómeno cósmico que Albert Einstein había pronosticado un siglo antes en su Teoría General de la Relatividad. El Jurado explica que esta vibración, que llegó a la Tierra de forma extremadamente débil, provenía de la colisión de dos agujeros negros, sucedida hace 1.300 millones de años. Su medición supone una prometedora revolución en la astrofísica. Rainer Weiss recibirá la mitad del Premio y Barry C. Barish y Kip S. Thorpe compartirán la otra mitad.

Estos tres físicos fueron reconocidos este año, junto al proyecto LIGO, con el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica. Weiss, Thorne y Barish trabajan en la Colaboración Científica LIGO y VIRGO, que une a los detectores del LIGO localizados en Livingston (Louisiana) y Hanford (Washington) y el detector franco-italiano VIRGO, localizado cerca de Pisa (Italia).

Rainer Weiss, nacido en Berlín (1932), ejerce en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT); mientras que Barry C. Barish, estadounidense (1936), trabaja en el Instituto de Tecnología de California (Caltech) junto a su colega Kip S. Thorpe también estadounidense (1949).

## Química

El Premio Nobel de Química se otorgó el 4 de octubre de 2017, a los descubridores de un método para observar la vida privada de las moléculas. La Real Academia Sueca de Ciencias ha premiado con el Nobel de Química de 2017 a tres investigadores: Jacques Dubochet, Joachim Frank y Richard Henderson, por desarrollar nuevas técnicas para generar imágenes tridimensionales de las moléculas de la vida, algo que está siendo utilizado para conocer mejor procesos biológicos tales como las infecciones o nuestros ciclos de sueño. En palabras de la academia, su mérito consiste en “el desarrollo de la criomicroscopía electrónica para la determinación a alta resolución de la estructura de biomoléculas en una solución”.

Según la Academia Sueca, esta tecnología permite observar, con precisión, proteínas que provocan resistencias a quimioterapias contra el cáncer o a los antibióticos que se emplean contra las infecciones, el funcionamiento de los complejos moleculares que regulan el reloj circadiano (que recibió el Nobel de Fisiología o Medicina de este año), o los mecanismos por los que se captura la luz durante la fotosíntesis. En un caso muy práctico se recuerda cómo cuando los investigadores

empezaron a sospechar que el virus del Zika era la causa de la epidemia de niños nacidos con daños cerebrales en Brasil, emplearon la criomicroscopía para obtener fotografías del virus. Gracias a las imágenes tridimensionales que obtuvieron, pudieron empezar a buscar fármacos para combatir la infección.

Joachim Frank, de la Universidad de Columbia, en Nueva York, incorporó avances que hicieron que la tecnología fuese más allá de la prueba inicial al desarrollar un método para procesar las imágenes bidimensionales borrosas obtenidas por el microscopio electrónico, analizarlas y combinarlas para obtener una estructura tridimensional y bien definida. Jacques Dubochet, de la Universidad de Lausana, en Suiza, fue el responsable de controlar el papel del agua en el proceso. En el vacío de un microscopio electrónico, el agua líquida se evapora y hace que las biomoléculas pierdan su forma original. A principios de los 80, Dubochet logró vitrificar el agua a partir de un método que la congelaba con la suficiente rapidez para que se solidificase alrededor de una molécula biológica y mantuviese su estructura natural incluso en el vacío del microscopio electrónico.

## Literatura

El *Premio Nobel de Literatura*, se otorgó el 5 de octubre de 2017 al escritor británico de origen japonés Kazuo Ishiguro, autor de las conocidas novelas “Lo que queda del día” y “Nunca me abandones”, ambas llevadas a la gran pantalla. El motivo de este galardón, según Sara Danius, secretaria permanente de la Academia Sueca y miembro del comité Nobel de Literatura, es que el Jurado ha considerado que Kazuo Ishiguro ha creado “novelas de gran fuerza emocional que han descubierto el abismo bajo nuestro ilusorio sentido de conexión con el mundo”. Su literatura aborda temas como la memoria, el tiempo o la autoilusión. El escritor, nacido en Nagasaki (Japón) en 1954, afincado a Inglaterra en 1960, estudió en las universidades de Kent y de East Anglia. Actualmente reside en Londres. Considerado uno de los mejores escritores contemporáneos, en 1995 fue nombrado Oficial de la Orden del Imperio Británico, y en 1998, Caballero de las Artes y las Letras por el gobierno francés. Ante la noticia, Kazuo Ishiguro ha reaccionado diciendo: “El mundo atraviesa ahora un momento de mucha incertidumbre y confiaría en que todos los premios Nobel fueran una fuerza para algo positivo”. Es autor de siete novelas: “Pálida luz en las colinas” (Premio Winifred Holtby), “Un artista del mundo flotante” (Premio Whitbread), “Los restos del día” (Premio Booker), “Los inconsolables” (Premio Cheltenham), “Cuando fuimos huérfanos”, “Nunca me abandones”

(Premio Novela Europea Casino de Santiago), “El gigante enterrado” y “El libro de relatos Nocturnos”. Estas dos últimas obras, Anagrama las ha publicado en español. Su obra ha sido traducida a más de cuarenta idiomas.

## Paz

El 6 de octubre de 2017 el Comité Noruego del Nobel concedió el *Premio Nobel de La Paz* a La Campaña Internacional para la Abolición de las Armas Nucleares (ICAN). El Comité Noruego que concede el galardón, ha explicado que esta organización internacional que agrupa a las ONG de un centenar de países, es merecedora de este Premio “por su trabajo para llamar la atención sobre las consecuencias humanitarias catastróficas de cualquier uso de las armas nucleares y por sus esfuerzos innovadores para lograr una prohibición basada en tratados de tales armas”. ICAN es una coalición de múltiples y reconocidos activistas de la sociedad civil, con sede en Ginebra, Suiza, que está siendo un activo promotor de la negociación del Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares. El Tratado se aceptó el pasado 7 de julio en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York.

Tras recalcar que “vivimos en un mundo en el que el riesgo de las armas nucleares es mayor que en mucho tiempo y que el fantasma de un conflicto nuclear acecha de nuevo”, la Presidente del comité noruego, Berit Reiss-Andersen, hizo un llamamiento a toda la comunidad internacional, pero muy en particular a los países que poseen armas nucleares, que hayan firmado el Tratado de No Proliferación Nuclear (Estados Unidos, Reino Unido, Francia, China, Rusia) o no (India, Pakistán, Corea del Norte, Israel), para que inicien “negociaciones serias con miras a la eliminación gradual, equilibrada y cuidadosamente controlada de las casi 15.000 armas nucleares en el mundo”.

## Economía

La Real Academia Sueca de Ciencias otorgó el Premio del Banco de Suecia en *Ciencias Económicas* 2017 a Richard H. Thaler de la Universidad de Chicago, Illinois, Estados Unidos “por sus contribuciones a la economía conductual”. El trabajo de Richard H. Thaler ha incorporado suposiciones psicológicamente realistas en los análisis de la toma de decisiones económicas. Al explorar las consecuencias de la racionalidad limitada, las preferencias sociales y la falta de autocontrol ha

demonstrado cómo estos rasgos humanos afectan sistemáticamente las decisiones individuales hasta los resultados del mercado. Ha construido un puente entre los análisis económicos y psicológicos de la toma de decisiones individuales.

*Racionalidad limitada:* Thaler desarrolló la teoría de la contabilidad mental, explicando cómo las personas simplifican la toma de decisiones financieras mediante la creación de cuentas separadas en sus mentes, centrándose en el impacto estrecho de cada decisión individual en lugar de su efecto global. También mostró cómo la aversión a las pérdidas puede explicar por qué las personas valoran el mismo artículo más altamente cuando lo poseen que cuando no lo hacen, un fenómeno llamado *Efecto Dotación*. Thaler fue uno de los fundadores del campo de la financiación conductual, que estudia cómo las limitaciones cognitivas influyen en los mercados financieros.

*Preferencias sociales:* Thaler mostró cómo las preocupaciones por la equidad de los consumidores pueden impedir que las empresas suban los precios en períodos de alta demanda, pero no en tiempos de aumento de los costos. Él y sus colegas idearon el juego del dictador, una herramienta experimental que se ha utilizado en numerosos estudios para medir las actitudes hacia la equidad en diferentes grupos de personas en todo el mundo.

*Falta de autocontrol:* el trabajo teórico y experimental de Thaler también ha arrojado nueva luz sobre la vieja observación de que las resoluciones de Año Nuevo pueden ser difíciles de mantener. Mostró cómo analizar los problemas de autocontrol usando un modelo planificador-hacedor, que es similar a los marcos que los psicólogos y los neurocientíficos usan ahora para describir la tensión interna entre la planificación a largo plazo y el hacer a corto plazo. Sucumbir a la tentación a corto plazo es una razón importante por la cual nuestros planes para ahorrar para la vejez, o para tomar decisiones saludables de estilo de vida, a menudo fracasan. En su trabajo aplicado, Thaler demostró cómo el empujón –un término que acuñó– puede ayudar a las personas a ejercer mejor autocontrol al ahorrar para una pensión.

El Premio de Economía, el único de los seis premios que no fue designado por Alfred Nobel, se concede desde 1969 como Premio Sveriges Riksbank en Ciencias Económicas, en memoria de Alfred Nobel, y se estableció en 1968 con ocasión del 300 aniversario del Riksbank. Se reconoce como Premio Nobel de Economía, cuenta con idéntica dotación, y se entrega a la vez que el resto de distinciones.

# INFORMACIÓN SOBRE LOS PREMIOS NOBEL

Federico Mayor Zaragoza  
María Cascales Angosto  
José Miguel Ortiz Melón

## Breve historia

El título del libro que hoy presentamos, requiere exponer una breve historia y testamento del científico e inventor sueco *Alfred Nobel*, creador de los Premios Nobel.

*Alfred Bernard Nobel* nació en Estocolmo el 21 de octubre de 1833. A los 9 años, su familia se trasladó a San Petersburgo, donde su padre regentaba una fábrica de armas que finalmente quebró. Con 30 años vuelve a Estocolmo y crea su propia fábrica donde comienza a estudiar cómo evitar la inestabilidad de la nitroglicerina. En estos estudios se jugó la vida, al sufrir una peligrosa explosión que destruyó gran parte de su primera fábrica y en la que murió su hermano menor *Emil Oscar*. Alfred Nobel encontró la forma de manipular la nitroglicerina, mezclándola con polvo de diatomeas, y ello le llevó a descubrir la dinamita en 1867.

La dinamita fue rápidamente utilizada en la construcción, transportes y obras públicas y su potencial destructivo no pasó desapercibido para el mundo militar. Los encargos de explosivos llegaban desde toda Europa y Estados Unidos. Con

la patente de sus inventos Alfred Nobel consiguió una grandísima fortuna, pero también lo atormentó pensando que la utilización práctica de sus descubrimientos (dinamita y otros) conllevaría la aniquilación de muchas vidas humanas, dado que los conflictos bélicos serían desde ahora mucho más cruentos y devastadores. Ese complejo de culpa fue creciendo hasta que concibió la idea de destinar la mayor parte de su fortuna a incentivar los mejores esfuerzos del hombre en diversos campos de la ciencia, las artes o la diplomacia, cultivados en favor de la humanidad. Mientras germinaba en su mente la idea de crear los Premios Nobel, Alfred Nobel había trasladado su negocio, su laboratorio y su hogar a San Remo (Italia) en 1891, donde moriría el 10 de diciembre de 1896.

El 27 de noviembre de 1895, un año antes de su muerte, Alfred Nobel firmó en París un testamento que recogía la creación de la *Fundación Nobel*. Los *Premios Nobel* tienen su origen, por tanto, en una disposición hereditaria en el testamento que decía lo siguiente:

*El que suscribe, **Alfred Bernard Nobel**, declaro por este medio tras profunda reflexión, que mi última voluntad respecto a los bienes que puedo legar tras mi muerte es la siguiente:*

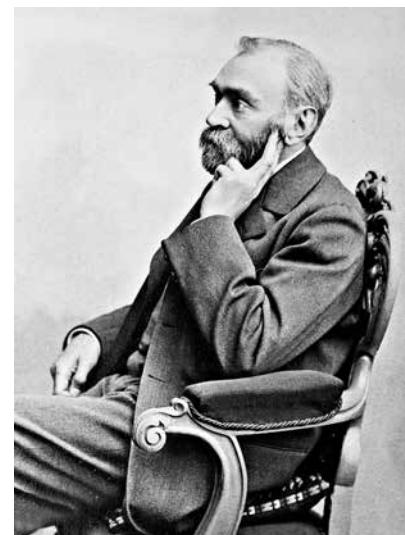
*Se dispondrá como sigue de todo el remanente de la fortuna realizable que deje al morir: el capital, realizado en valores seguros por mis testamentarios, constituirá un fondo cuyo interés se distribuirá anualmente como recompensa a los que, durante el año anterior, hubieran prestado a la humanidad los mayores servicios. El total se dividirá en cinco partes iguales, que se concederán: una a quien, en el ramo de las Ciencias Físicas, haya hecho el descubrimiento o invento más importante; otra a quien lo haya hecho en Química o introducido en ella el mejor perfeccionamiento; la tercera al autor del más importante descubrimiento en Fisiología o Medicina; la cuarta al que haya producido la obra literaria más notable en el sentido del idealismo; por último, la quinta parte a quien haya laborado más y mejor en la obra de la fraternidad de los pueblos, a favor de la supresión o reducción de los ejércitos permanentes, y en pro de la formación y propagación de Congresos de la Paz.*

*Los premios serán otorgados: los de Física y Química por la Academia Sueca de Ciencias; el de Fisiología o Medicina por el Instituto Karolinska de Estocolmo; el de Literatura, por la Academia de Estocolmo; el de la PAZ, por una comisión de cinco individuos que elegirá el Comité Nobel del parlamento noruego. Es mi*

*voluntad expresa que en la concesión de los premios no se tenga en cuenta la nacionalidad, de manera que los obtengan los más dignos, sean o no escandinavos [...]*

En resumen: los **Premios Nobel** fueron instituidos en 1895 como última voluntad de Alfred Nobel, y se entregaron por primera vez en 1901 en las categorías de Fisiología o Medicina, Física, Química, Literatura y Paz. En 1968 se estableció el de Ciencias Económicas. Los **Premios Nobel** suponen el mayor galardón que se concede a aquellas personas o instituciones que han destacado por su excepcional contribución en los diferentes campos de la Ciencia y la Cultura.

Los **Premios Nobel** se conceden cada año en los primeros días de octubre y se entregan por el Rey de Suecia en una ceremonia solemne el 10 de diciembre. En esta ceremonia cada laureado recibe una medalla de oro, un diploma y una suma de dinero, que determina cada año la Fundación Nobel y que este año ha supuesto 9 millones de coronas suecas, que se reparte en caso de los Nobel atribuidos a más de una persona. No pueden otorgarse de manera póstuma y tampoco pueden designarse más de tres por categoría y año. Aunque el anuncio de los ganadores de los seis Premios Nobel se produce en octubre, en días consecutivos a partir del primer lunes, la ceremonia de entrega de los premios es conjunta y tiene lugar cada 10 de diciembre en Estocolmo, a excepción del Nobel de la Paz, que elige el Comité Noruego del Nobel y se entrega en Oslo. El 10 de diciembre, supone para la Fundación Nobel una fecha emblemática, por ser el aniversario de la muerte de Alfred Nobel en 1896 en la localidad italiana de San Remo.



Alfred Nobel por Gosta Florman (Wikimedia, 2017).

\*\*\*

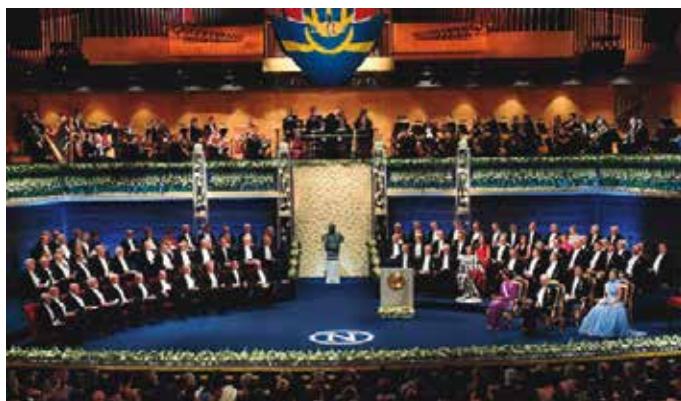
Cada 10 de diciembre, las ciudades de Estocolmo y Oslo se preparan para celebrar con toda solemnidad la entrega de los Premios Nobel. Esta es una fecha marcada a fuego en el calendario de todos los miembros de las Familias Reales Sueca y Noruega, que participan en el evento de la entrega de los Premios considerados como los galardones más prestigiosos del mundo.

La ceremonia de entrega de los Premios Nobel a los galardonados, presidida por el rey Carlos Gustavo XVI y la reina Silvia, con asistencia de los herederos y demás miembros de la Casa Real, se celebró el domingo 10 de diciembre de 2017 en el Palacio de Congresos de Estocolmo. El rey Carlos Gustavo hizo entrega de los respectivos Premios Nobel 2017 a los once premiados que con su obra han “conferido el mayor beneficio a la Humanidad”. La ceremonia comenzó a las 16.30 hora local, en la Sala de Conciertos. Se inició con el discurso de apertura pronunciado por el Presidente de la Junta directiva de la Fundación Nobel Carl-Henrik Heldin, que expuso la actividad o los descubrimientos de los galardonados. Inmediatamente después tuvo lugar la presentación de cada uno de ellos al auditorio. A continuación de la presentación de cada Premio, el Rey hizo entrega a cada uno de los laureados de un diploma, la medalla Nobel y un documento confirmando la cantidad relativa al Premio. La dotación del premio ha sido, como ya se ha indicado, de 9 millones de coronas suecas (1,1 millones de dólares), después de que la Fundación Nobel aumentara el monto de las distinciones Nobel por primera vez en cinco años.

Una parte importante de este ceremonial es el discurso protocolario que cada galardonado pronuncia en Estocolmo unos días antes de la ceremonia de entrega de los Premios.



Sus Majestades el rey Gustavo y la reina Silvia y los príncipes herederos Victoria y David (The Nobel Foundation).



Vista general del salón del Palacio del Congreso en Estocolmo donde se celebró la Ceremonia de entrega de los Premios Nobel el 10 de diciembre de 2017.

Inmediatamente después del discurso de apertura, se procedió a la presentación de los galardonados, empezando por el Premio Nobel de Física.

La profesora Olga Botner, miembro de la Real Academia Sueca de Ciencias y Miembro del Comité Nobel de Física, realizó la presentación de cada uno de los premiados con el Nobel de Física 2017, en la que terminó diciendo:

*Profesores Weiss, Barish y Thorne, ustedes han sido premiados con el Premio Nobel de Física por sus contribuciones decisivas en la observación de las ondas gravitacionales. En nombre de la Real Academia Sueca de las Ciencias me siento muy honrada en transmitirles nuestra más calurosa felicitación. I now ask you to step forward to receive your Nobel Prizes from the hands of His Majesty the King. Los tres galardonados, uno tras otro, se acercaron a Su Majestad el Rey.*

A continuación, se procedió a la presentación de los Premiados con el Nobel de Química 2017, que corrió a cargo del profesor Peter Brezinski, miembro de la Academia Sueca de Ciencias y Miembro del Comité Nobel de Química, en el que terminó diciendo:

*Jacques Dubochet, Joachim Frank y Richard Henderson: sus trabajos han conseguido desarrollar la microscopía crioelectrónica para la determinación de la alta resolución de la estructura de biomoléculas en solución, lo que supone un gran descubrimiento. En nombre de la Real Academia Sueca de Ciencias, deseo transmitirles nuestra más calurosa enhorabuena. Permitanme ahora pedirles que se adelanten y reciban su Premio Nobel de manos de Su Majestad el Rey.*

En el mismo orden en el que fueron citados por Peter Brezinski, los premiados se fueron acercando, uno tras otro, para recibir el Premio de manos del Rey.

A continuación, el Profesor Carlos Ibáñez, Miembro de la Asamblea Nobel en el Instituto Karolinska y Miembro del Comité Nobel de Fisiología o Medicina, pronunció la presentación de los premiados con el *Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2017*, terminando con las siguientes palabras:

*Profesores Hall, Rosbash y Young: sus brillantes estudios han resuelto uno de los grandes problemas de la fisiología. Sus descubrimientos han desvelado los entresijos del reloj biológico, un mecanismo esencial para la supervivencia de la vida en el planeta.*

*En nombre de la Asamblea Nobel y el Instituto Karolinska, deseo transmitirles nuestra más cálida enhorabuena. Permítanme ahora pedirles que se adelanten y reciban sus Premios Nobel de manos de Su Majestad el Rey.*

La presentación del premiado con el *Nobel de Literatura* corrió a cargo de la Profesora Sara Danius, Secretaria Permanente de la Academia Sueca y Miembro del Comité Nobel de Literatura, quien terminó con las siguientes palabras:

*Escritores tales como Proust y Woolf intentan rescatar el pasado mientras que Ishiguro viaja con sus historias, cual campana de buzo, haciendo descubrimientos en el poderoso mar de la amnesia. Sobre todo, explora en detalle cómo interaccionamos con el pasado, y que nosotros, como individuos, comunidades, sociedades también, debemos olvidar para sobrevivir.*

*Querido señor Ishiguro, es un gran placer para mí transmitirle la más calurosa felicitación de la Academia Sueca y pedirle que reciba de las manos de Su Majestad el Rey el Premio Nobel de Literatura 2017.*

El discurso de presentación del premiado con el *Nobel de Economía*, que estuvo a cargo del profesor Per Strömberg, miembro de la Real Academia Sueca y Presidente del Comité Nobel para el Premio de Ciencias Económicas, terminó así:

*Querido Profesor Thaler: su trabajo sobre las consecuencias de la racionalidad limitada, autocontrol y sentimiento de justicia, ha introducido conceptos de la psicología en la economía, desde sus fronteras a su centro. Su investigación ha sido crucial en el nuevo campo de la economía del comportamiento. Ha informado*

*a los sistemas políticos, ha unificado las ciencias sociales y liberado el legado intelectual de Adam Smith.*

*Es un honor y un privilegio transmitirle, en nombre de la Real Academia Sueca de Ciencias, nuestras más sinceras felicitaciones. Ahora le pido que reciba su premio de manos de Su Majestad el Rey.*

Con el Premio Nobel de Economía finalizó la solemne ceremonia de entrega de Premios Nobel 2017 por el Rey de Suecia.

La jornada concluyó con una cena de gala que se celebró en el Salón Azul del Ayuntamiento de Estocolmo a la que asistieron la familia real, los laureados y cientos de invitados y en la que se pronunciaron diversos discursos por parte de los galardonados.

## **Premio Nobel de la Paz. Oslo**

Con asistencia de los reyes de Noruega Harald y Sonja y de los príncipes herederos Haakon y Mette-Marit, como también del Comité Noruego del Nobel, representantes del Gobierno y del Parlamento Noruego, y una audiencia invitada, se



Los reyes Harald y Sonja de Noruega, y los príncipes herederos Haakon y Mette-Marit en la ceremonia de entrega del Premio Nobel de la Paz en el City Hall de Oslo, el 10 de diciembre de 2017 (Credit: ICAN).

celebró la ceremonia de la entrega del Premio Nobel de la Paz en el City Hall de Oslo el 10 de diciembre de 2017, horas antes que la Ceremonia de Estocolmo.

El Comité Noruego del Nobel tiene su sede en Oslo, aunque es una entidad autónoma que no está vinculada al gobierno noruego. Por consiguiente, la Embajada no interviene ni transmite comunicaciones dirigidas al Comité del Nobel.

La ceremonia comenzó con el discurso de la presidenta del Comité Noruego del Nobel, Berit Reiss Andersen, que terminó con las siguientes palabras:

*Para concluir, quisiera citar a Su Santidad el Papa Francisco, quien declaró recientemente: “Las armas de destrucción masiva, en particular las armas nucleares, no crean más que una falsa sensación de seguridad. No pueden constituir la base para la coexistencia pacífica entre los miembros de la familia humana, que más bien debe inspirarse en una ética de solidaridad”.*

Posteriormente la presidenta entregó el Premio Nobel de la Paz a Beatrice Fihn, presidenta de ICAN y a Setsuko Thurlow, superviviente de Hiroshima, quienes pronunciaron sendos discursos de aceptación y agradecimiento.



Entrega del Premio Nobel de la Paz a ICAN. Setsuko Thurlow y Beatrice Fihn reciben el Premio de manos de Berit Reiss-Andersen, Presidenta del Comité Nobel de la Paz (Credit: Nobelprize.org).

# Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2017

## JEFFREY C. HALL, MICHAEL ROSBASH Y MICHAEL W. YOUNG HAN RECIBIDO CONJUNTAMENTE EL NOBEL DE FISIOLOGÍA O MEDICINA 2017 “POR SUS DESCUBRIMIENTOS EN LOS MECANISMOS MOLECULARES QUE CONTROLAN EL RITMO CIRCADIANO”



En el anverso de la medalla se muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCXXXIII y muerte OB MDCCXCVI. El reverso de la medalla del Premio Nobel de Fisiología o Medicina, representa al “Genio de la Medicina” sosteniendo un libro abierto en su regazo, y recogiendo agua que sale de una roca para saciar la sed de una mujer enferma. La inscripción *Inventas vitam juvat excoluisse per artes* ha sido tomada de la obra *La Eneida* de Virgilio del siglo I AC. El nombre del Laureado se muestra debajo de la imagen, y además aparece un texto “REG. UNIVERSITAS. MED. CHIR. CAROL”. Diseñada por Erik Lindberg.

José Miguel Ortiz Melón  
María Cascales Angosto  
Federico Mayor Zaragoza

### ■ Resumen

La vida sobre la Tierra está adaptada a la rotación de nuestro planeta. Desde hace algunos años conocemos que los organismos vivos, incluidos los seres humanos, tenemos un reloj biológico interno que nos ayuda a anticiparnos y a adaptarnos al ritmo regular de cada día. Pero ¿cómo funciona este reloj? Los científicos

laureados con el Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2017, Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash y Michael W. Young han sido capaces de introducirse en nuestro reloj biológico y elucidar su maquinaria. Sus descubrimientos explican cómo las plantas, los animales y los seres humanos adaptamos nuestro ritmo biológico para que se sincronice con las revoluciones de la Tierra.

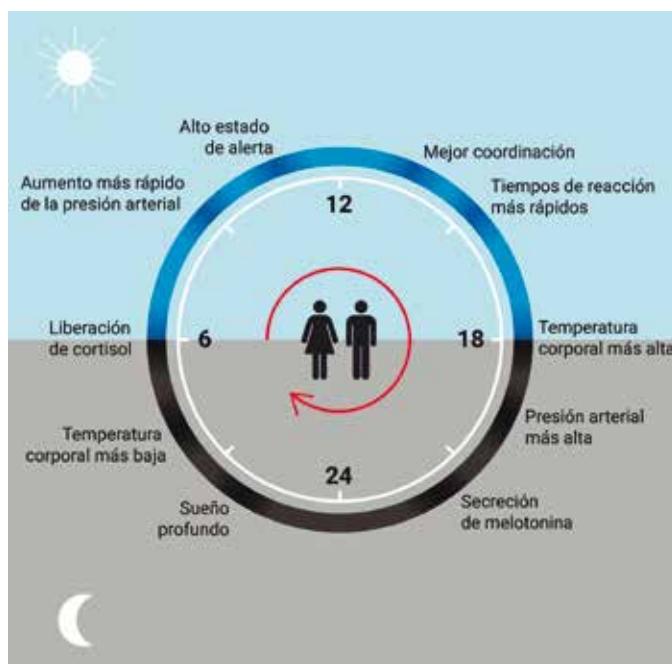
Utilizando la mosca de la fruta, *Drosophila melanogaster*, como organismo modelo, los laureados con el Nobel de este año, aislaron por primera vez un gen que controla el ritmo biológico diario. Mostraron también que este gen codifica una proteína que se acumula en las células durante la noche, y que durante el día se destruye. Posteriormente, identificaron otras proteínas que son componentes adicionales de la maquinaria del ritmo biológico y que conjuntamente gobiernan el reloj molecular que hay dentro de las células. Ahora sabemos que los relojes biológicos funcionan con los mismos principios en las células de otros organismos, incluidos los seres humanos.

Con precisión exquisita nuestro reloj biológico interno adapta nuestra fisiología a las diferentes fases del día. El reloj biológico regula funciones tales como el comportamiento, los niveles hormonales, el sueño, la temperatura corporal o el metabolismo. Nuestro bienestar resulta afectado cuando se produce un desajuste entre el medio externo y este reloj biológico interno, por ejemplo, cuando viajamos a través de varias zonas horarias y experimentamos “jet lag”. Hay también indicaciones de que el desajuste crónico entre nuestro tipo de vida y el ritmo dictado por nuestro cronómetro interior está asociado con un aumento del riesgo de padecer varias enfermedades.

## ■ Los ritmos circadianos

Una característica clave de la vida sobre la Tierra es su capacidad para adaptarse al medio ambiente. Las diferentes localizaciones geográficas tienen diferentes condiciones ambientales y los organismos se adaptan a las condiciones que prevalecen en su lugar para aumentar la supervivencia. Sin embargo, en cualquier localización se producen cambios profundos diarios en la luz y temperatura ambiental como consecuencia de la rotación de la Tierra sobre su eje (figura 1). Para adaptarse a tales cambios, la mayoría de los organismos han desarrollado un reloj biológico interno que anticipa los ciclos del día y de la noche y ayuda, de este modo, a optimizar su fisiología y comportamiento. Este ritmo diario, generado in-

ternamente, se denomina “circadiano” (del latín “circa” que significa “alrededor” y “dies” que significa “día”). Desde el punto de vista de la aparición y evolución de los organismos sobre la Tierra, los ritmos circadianos son muy antiguos y se han conservado a través de la evolución. Se sabe por ejemplo, que existen en formas de vida muy diversas, desde cianobacterias unicelulares a protozoos y que están presentes en todos los organismos multicelulares, incluyendo hongos, plantas, insectos, roedores y humanos. Los elementos esquemáticos de un sistema circadiano son: a) un generador de ritmos de 24 horas, que contiene mecanismos que unen un oscilador interno a estímulos externos como la luz; y b) mecanismos que permiten la programación temporal de procesos fisiológicos.



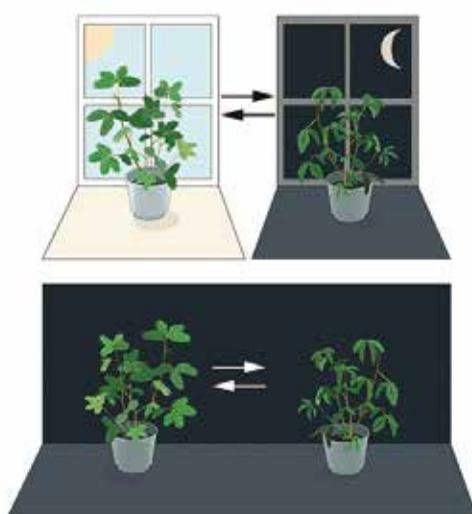
**Figura 1.** Los ritmos circadianos son oscilaciones de las variables biológicas de períodos de 24 horas. Las plantas, animales y humanos adaptan su fisiología para que esté sincronizada con la rotación terrestre.

## ■ De los ritmos circadianos a los relojes biológicos

El conocimiento de la periodicidad de los fenómenos naturales y ambientales de los ritmos circadianos data de épocas muy primitivas en la historia de la humanidad, y el tiempo y la variación periódica de los fenómenos biológicos en la salud

y en la enfermedad ocupaban ya un lugar muy importante en las doctrinas de los médicos de la antigüedad. Estos conceptos fueron recogidos y ampliados con observaciones propias de los naturalistas griegos. Así, por ejemplo, Aristóteles, y más tarde Galeno, escriben sobre la periodicidad del sueño, centrándola en el corazón el primero y en el cerebro el segundo. Hechos como la floración de las plantas, la reproducción estacional de los animales, la migración de las aves, la hibernación de algunos mamíferos y reptiles, fenómenos todos ellos cotidianos para el hombre, fueron inicialmente considerados como simples consecuencias de la acción de factores externos y astronómicos. De acuerdo con esta opinión, que permaneció durante siglos, el medio ambiente imponía su rutina a los seres vivos.

Diversas observaciones de que los organismos adaptan su fisiología y comportamiento a las horas del día, de un modo circadiano, han sido documentadas desde hace tiempo y hay bastante coincidencia en que empezaron con la observación de los movimientos de hojas y flores en diversas plantas. Por ejemplo, las hojas de la planta *Mimosa* se cierran por la noche y se abren durante el día. En 1729, el astrónomo francés Jacques d'Ortous de Mairan colocó una planta de *Mimosa* en



**Figura 2.** Un reloj biológico interno. La hojas de *Mimosa* se abren hacia el sol durante el día y se cierran al anochecer. Jean Jacques d'Ortous de Mairan colocó una planta de mimosa en oscuridad constante y encontró que las hojas continuaban con su ritmo diario durante varios días. Esto le sugirió que tenían un reloj celular autónomo que podía mantener el ritmo biológico incluso bajo condiciones constantes.

la oscuridad y observó que las hojas todavía se abrían y cerraban rítmicamente a la hora del día adecuada, sugiriendo la existencia de un origen endógeno de la existencia de un ritmo diario (figura 2). Alrededor de doscientos años mas tarde, el fisiólogo vegetal alemán y pionero de la investigación en ritmos circadianos Erwin Bunning, conectó las hojas de una planta de judías a un quimógrafo (con gran dificultad) y registró los movimientos de las hojas, durante los ciclos normales de noche y día, así como bajo condiciones de luz constante, observando que el ritmo del movimiento de la hoja persistía. La pregunta que se formularon entonces los científicos era si los comportamientos circadianos en plantas y animales estaban gobernados por

un reloj endógeno, o eran una reacción a estímulos externos de una naturaleza circadiana. Estas cuestiones solamente pudieron ser contestadas mucho más tarde en el siglo XX.

## ■ **La herencia de los ritmos circadianos y los genes del reloj**

Con el paso del tiempo, además de los movimientos periódicos de las hojas, se encontró que otras propiedades fisiológicas estaban también controladas por el supuesto reloj fisiológico y se empezó a considerar la posibilidad de herencia de los ritmos circadianos como producto de la selección natural. Los estudios clásicos de Erwin Bunnings en los años 1930 habían mostrado que los ritmos circadianos en plantas eran susceptibles de ser heredados aun cuando las plantas parentales hubieran estado expuestas a períodos de luz no circadianos. Así mismo, cruces entre estirpes, con períodos variables, realizados en el laboratorio, daban lugar a plantas con períodos intermedios. Alrededor de los años 1960 existía ya una comunidad de investigadores en una nueva disciplina que se llamó Cronobiología, dedicada al estudio de la Biología de los ritmos circadianos y el concepto de la existencia de genes reloj empezó a ser seriamente considerado.

Aproximadamente en esa época, el científico americano Seymour Benzer y su discípulo Ronald Konopka, que trabajaban en el Instituto de Tecnología de California, emprendieron estudios para identificar mutantes en la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) buscando alteraciones en fenotipos circadianos (figura 3). A diferencia de otros genéticos y científicos de la época, Benzer creía que los comportamientos podían estar influídos por la acción de algunos genes, y que debía ser posible demostrarlo por el aislamiento de mutantes, esto es, organismos con comportamiento alterado debido a mutación en genes individuales. Empleando una estrategia de mutagénesis inducida por compuestos químicos, Benzer y Konopka, aislaron tres estirpes de moscas mutantes que presentaban alteraciones en el ciclo de 24 horas de eclosión de pupas y de actividad locomotora. Uno de los mutantes resultó ser arrítmico, es decir, no tenía ritmos; otro mutante presentaba un ritmo de 19 horas en lugar del normal de 24 horas, y un tercero tenía un ritmo algo más largo de 28 horas. Experimentos de mapeo genético, empleando los marcadores conocidos en aquella época, que eran pocos, permitieron localizar los tres mutantes en la misma región del cromosoma X de la mosca. Asimismo, experimentos de complementación sugirieron que las tres mutaciones implicadas se encontraban situadas en el mismo gen que, más tarde, se denominó *period*.

Basados en estos hallazgos, Benzer y Konopka predijeron de manera un tanto arriesgada que el mutante arrítmico podría ser un mutante del tipo *nonsense*, un tipo de mutación en la que el cambio en la secuencia de nucleótidos del DNA no da lugar a un triplete de los establecidos como codificantes en el código genético. Análogamente, predijeron que los mutantes con períodos más largo y más corto, respectivamente, podrían ser mutantes *missense*, es decir, mutantes que alteraban la función del producto génico de maneras diferentes, pero sin llegar a anularlo. Trabajos posteriores mostraron que estas predicciones eran correctas. Aunque Benzer cambió con el tiempo de campo de investigación, Konopka continuó trabajando en el locus *period* mapeando su posición cromosómica con mayor precisión. Sin embargo, el gen *period* no pudo ser aislado y secuenciado hasta la mitad de los años 1980, precisamente a través del trabajo de Jeffrey C. Hall y Michael Rosbash, dos de los laureados con el Premio Nobel de este año, que por entonces

trabajaban y colaboraban en la Universidad de Brandeis, y de Michael W. Young, el tercer premiado, que trabajaba independientemente en la Universidad de Nueva York.



**Figura 3.** Mosca *Drosophila* macho persiguiendo y cortejando a una hembra.

El primer elemento del reloj genético pudo ser así aislado y su estructura molecular caracterizada. Sin embargo, ni la identificación genética de *period*, ni su clonado molecular y secuenciación, sugerían todavía mucho acerca del mecanismo molecular del llamado reloj circadiano.

## ■ El sistema regulador de retroalimentación de los ritmos

En los años siguientes al clonado del gen *period* se propusieron diversos modelos para explicar cómo su producto proteico, la proteína PER, podría funcionar para producir oscilaciones circadianas. Se propuso, primero, un modelo llamado de “gradiente de membrana”, en el que se suponía que la proteína PER podría

funcionar como una bomba capaz de generar un gradiente a través de la membrana celular, y que, tras alcanzar un nivel umbral, se dispararía a través de canales de membrana sensibles a la luz. En otro modelo, la proteína PER se suponía que podría ser un proteoglucano, una estructura compleja compuesta por proteína y glucano parecida a la pared celular bacteriana, capaz de atraer células juntándolas entre sí, y facilitando la formación de conexiones intercelulares a través de uniones “gap”. Finalmente, la obtención y producción de anticuerpos anti-PER permitió una serie de descubrimientos cruciales. El primero de ellos fue el realizado por los laboratorios de Hall y Rosbash al observar un ciclo de 24 horas en neuronas del cerebro de la mosca en los niveles de la proteína PER, con un pico por la noche. El mRNA codificado por el gen *period* mostraba también ciclos circadianos en sus niveles, lo que ponía de manifiesto que el ciclo de la proteína PER era consecuencia del ciclo del mRNA de *period*. De modo inesperado, sin embargo, el “pico” de mRNA de *period* tenía lugar por la noche varias horas antes que el “pico” de PER. Se encontró, también, que un mutante nonsense de *period* era incapaz de producir oscilaciones en los niveles de mRNA de *period*, pero que la proteína PER, adicionada al sistema experimental, podía rescatar la expresión cíclica del mRNA. Basado en estas observaciones nació el modelo de retroregu-

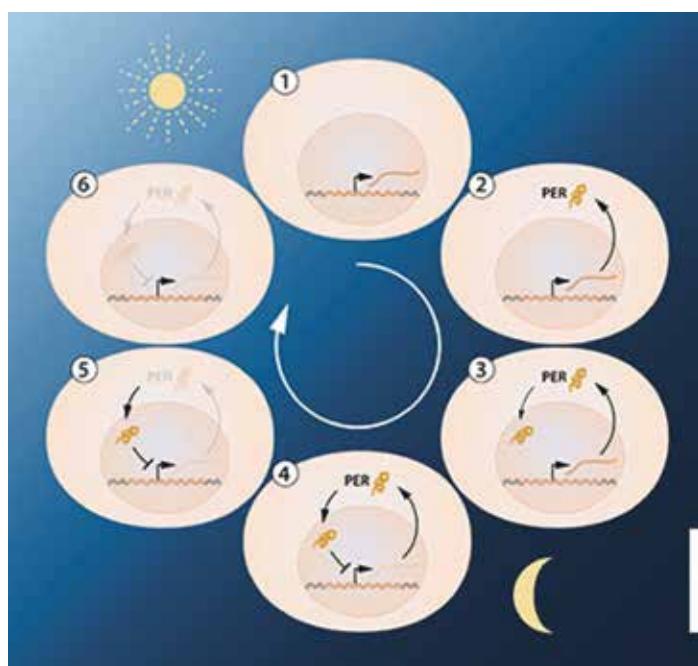


Figura 4. Regulación transcripcional del gen *per*.

lación o feedback negativo por el que la acumulación de la proteína PER resulta en la atenuación de la expresión del mRNA de *period* (figura 4). Posteriormente, se encontró que la proteína PER se localiza en el núcleo y que su localización cambiaba pasando del núcleo al citoplasma de una manera regulada en el tiempo, proporcionando base a la idea de que la proteína PER era lo que se conoce en biología molecular como un “regulador transcripcional”.

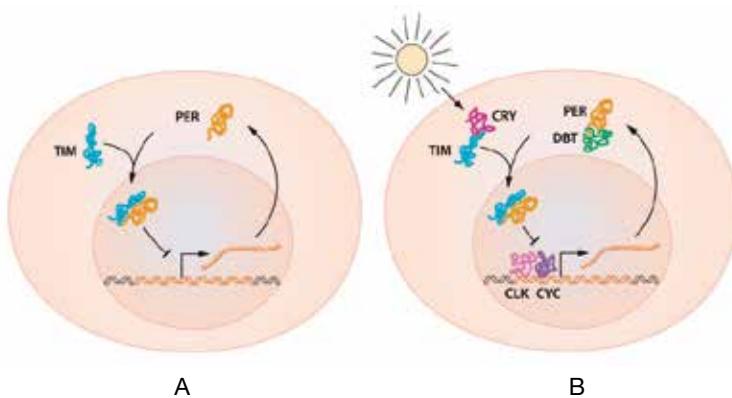
Tanto el mRNA como la proteína PER oscilan. La proteína PER se acumula durante varias horas tras el “pico” de mRNA de *period*. La proteína PER se localiza en el núcleo y la actividad del gen *period* oscila como resultado de la inhibición feedback por la proteína PER de su propio gen.

En una nueva serie de experimentos, Young descubrió otro gen, *timeless*, que influía también en el reloj circadiano. Una observación importante fue el encontrar que el ciclo de la expresión de *period* estaba ausente en los mutantes *timeless*, y que, inversamente, los ciclos circadianos en la expresión de *timeless* se habían perdido en el mutante *period*.

Estos avances consolidaron la estructura conceptual básica del modelo de transcripción- traducción de retroalimentación conocido por las siglas TTFL (Transcription Translation Feedback Loop) como un mecanismo de regulación de ciclos circadianos en la autoregulación de genes reloj (figura 5A). En aquel tiempo, un mecanismo de tipo transcripcional no era ni mucho menos evidente y, como se ha dicho, se consideraban diferentes alternativas. De esta manera, el descubrimiento del mecanismo de regulación Feedback de Transcripción-Traducción autosostenido (TTFL) representó un nuevo paradigma.

Sin embargo, el mecanismo por el que la transcripción de *period* y *timeless* era activado permaneció algún tiempo desconocido. Esta cuestión se resolvió con el descubrimiento de otros genes, los genes *clock* y *cycle*. El gen *clock* fue identificado en ratón por Joseph Takahashi. Los productos génicos denominados CLOCK (CLK) y CYCLE (CYC) interaccionan entre sí debido a que contienen motivos proteicos tipo hélix-loop-helix (bHLH) de interacción con DNA, y se unen a elementos específicos en los genes *period* y *timeless* regulando positivamente su transcripción. Posteriormente, otros estudios mostrarían que TIM y PER actúan también como reguladores negativos de la actividad CLK y, de este modo, el bucle feedback circadiano quedaba cerrado.

Los modelos actuales del reloj molecular circadiano son más complejos e incluyen componentes adicionales que contribuyen a su robustez y periodicidad. Un aspecto importante es que, como las reacciones de transcripción y traducción son rápidas, es necesario introducir retrasos sustanciales en el mecanismo para poder generar oscilaciones de 24 horas. Esto se consigue por un conjunto de reacciones que implican fosforilación de proteínas y degradación de componentes del sistema, ensamblaje del complejo proteico, translocación nuclear y otras modificaciones postraduccionales. Una observación clave que demuestra el mecanismo subyacente para este retraso vino del descubrimiento por Young del gen *doubletime* que codifica una proteína quinasa DOUBLETIME (DBT) que fosforila PER y aumenta su degradación. Otras proteínas integran señales ambientales que sincronizan el reloj (figura 5B). Por ejemplo, la luz, puede activar el producto proteínico del gen *cry* que codifica la proteína CRIPTOGRAMA y promover su unión a TIM, lo que conduce a su degradación en el proteosoma. Al amanecer, TIM se degrada dejando a PER vulnerable para su fosforilación por DBT y subsiguiente degradación.



**Figura 5.** A) Otras proteínas son también esenciales para la oscilación del gen *period*. La proteína TIM codificada por el gen *timeless* es también oscilante e interacciona con la proteína PER. La interacción es crítica para la acumulación nuclear de la proteína PER y la represión del gen *period*. B) La proteína DBT está codificada por el gen *doubletime*. DBT es una proteína quinasa que fosforila PER, conduciendo a su degradación. La degradación de la proteína PER mediada por DBT contribuye al retraso entre el mRNA y la acumulación de la proteína PER. CLK y CYK codificadas por los genes *clock* y *cycle* son dos factores de transcripción que activan el gen *period*.

## ■ Relojes circadianos en diferentes organismos

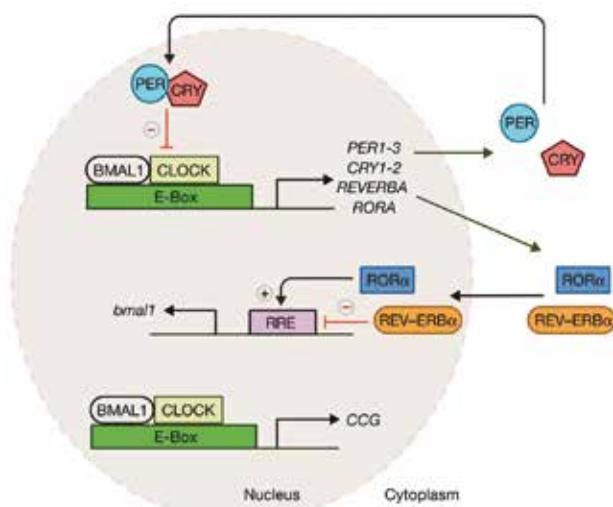
Los mecanismos del tipo TTFL constituyen también un modelo de relojes circadianos en otros organismos multicelulares, incluidos los seres humanos. Varios homólogos de las proteínas esenciales del reloj circadiano de *Drosophila*, como CLK y PER, juegan papeles similares en el control circadiano de mamíferos. Aunque las plantas utilizan principalmente factores de transcripción que no son homólogos a los del reloj circadiano de *Drosophila*, el sistema TTFL es el principal mecanismo unificador. En Cianobacterias, sin embargo, se ha descrito un tipo diferente de oscilador circadiano que es independiente de transcripción y depende, en cambio, de sucesos secuenciales de fosforilación de proteínas. De manera sorprendente, se ha podido reconstituir *in vitro* el reloj de cianobacterias utilizando proteínas purificadas y ATP. Análogamente, en eritrocitos humanos se ha descrito un sistema de oscilación independiente de transcripción, que funciona asociado a la hiperoxidación de peroxiredoxina. La importancia fisiológica de estas oscilaciones independientes de sistemas TTFL es desconocida todavía, pero estos resultados sugieren que pueden existir mecanismos diferentes para generar oscilaciones circadianas.

## ■ Oscilador circadiano celular en mamíferos

En animales, el mecanismo central que da lugar a oscilaciones circadianas es también un sistema de retroregulación (TTFL) y está presente en la mayoría de las células. Los factores de transcripción CLOCK (o NPAS2) y BMAL1 se unen como heterodímeros a cajas E en los promotores de sus propios represores-Cryptochrome (*Cry1* y *Cry2*) y Period (*Per-1, -2, -3*), y a los receptores nucleares de hormonas *Rev-erb* y *Ror*. ROR y REV-ERB dirigen la expresión génica de *Bmal1* actuando rítmicamente para activar o reprimir su expresión a través de elementos RRE presentes en el promotor. Las proteínas REV y ROR afectan también la expresión de *Cry1* retrasando su expresión varias horas en relación a *Cry2*. Sucesos de transcripción y traducción que implican a una lista creciente de proteínas nucleares o citoplásmicas generan ritmos de 24 horas endógenos en el nivel de mRNA y proteína de la mayoría de los 13 reguladores transcripcionales. Además de controlar la expresión recíprocamente, estos reguladores también dirigen la expresión rítmica de miles de genes diana por unión en *cis* a sitios reguladores. La base transcripcional de los ritmos circadianos permite que un conjunto de reguladores transcripcionales acoplen su actividad a la expresión rítmica de cientos o miles de genes con “picos” de expresión a distintos tiempos del día (fase). Esta expresión

coordinada tan extensa sería difícil de conseguir con mecanismos basados solamente en interacciones proteína-proteína.

Factores de transcripción circadiana también interaccionan con un número de co-activadores, co-represores y factores asociados a cromatina que leen, escriben o borran marcas de modificación de histonas para activar o reprimir su transcripción (figura 6). Así, complejos CLOCK/BMAL1 están asociados muchas veces con la histona –acetil– transferasa p300 y la proteína que une a CREB (CBP). Represores de CRY/PER se encuentran a veces en complejos con histona-deacetilasas (HDAC). Además, MLL1, MLL3, WDR5 y EZH2 forman complejos con factores transcripcionales circadianos. Interacciones entre REV-ERB y N-CoR/HDAC3 corepresor son esenciales para la función represora de REV-ERB. Una histona-lisina demetilasa, JARDID1a, y una proteína bHLH-PAS, USF1, colaboran en la transición entre ciclos diarios de activación y represión por interacción con CLOCK/BMAL1 y PER/CRY. Además de los ritmos en modificación de histonas, algunas proteínas reloj circadianas también llevan a cabo acetilación y desacetilación. A todo ello se unen elementos promotores que actúan en *cis* (CRE y HSE) median un ajuste rápido a los componentes del reloj circadiano en respuesta a cambios rápidos en el estado celular. Resumiendo, la regulación del reloj circadiano mediada por regulación transcripcional implica a un gran número de interacciones funcionales entre proteínas.



**Figura 6.** Sistema esquemático de regulación transcripción-traducción por retroregulación en el oscilador circadiano de mamíferos.

El reloj central circadiano en mamíferos descansa en un sistema de retroregulación compuesto por los factores de transcripción BMAL1 y CLOCK. En la parte positiva del sistema, BMAL1 y CLOCK dimerizan y se unen a elementos situados en la caja E-Box de los genes PER y CRY que codifican elementos negativos del bucle de retroalimentación PER1-3 y CRY 1-2. Las proteínas PER y CRY reprimen su propia transcripción interfiriendo con la actividad CLOCK- BMAL1.

## ■ Desarrollo y sincronización de relojes biológicos

El programa circadiano está regulado a nivel central y periférico. En mamíferos, el marcapasos está localizado en el núcleo supraquiasmático (SCN) del hipotálamo y funciona como el reloj circadiano principal (figura 7). La retina recibe el impulso lumínico y conduce esta información al Sistema Nervioso Central, el cual sincroniza sus propios relojes celulares neuronales. El reloj central regula los ritmos circadianos por todo el cuerpo a través de factores humorales y el Sistema Nervioso Autónomo periférico. Sin embargo, la capacidad para la expresión genética circadiana está repartida por todo el cuerpo y la mayor parte de los órganos periféricos y tejidos pueden expresar oscilaciones circadianas en estado de aislamiento. De esta manera, el sistema circadiano de un animal se asemeja a una tienda de relojes más que a un solo reloj. Esto ha suscitado también la cuestión de cuántos relojes pueden ser sincronizados efectivamente.

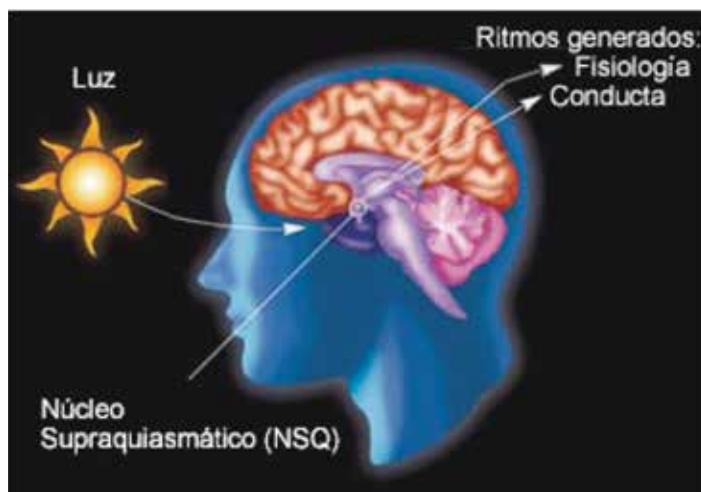
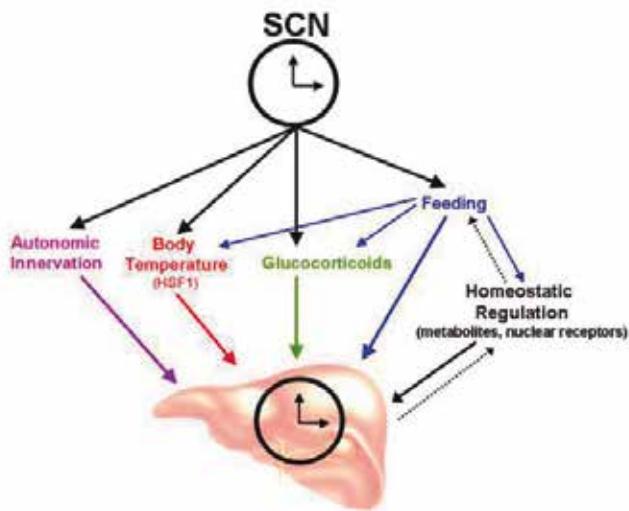


Figura 7. El reloj circadiano central en el ser humano.

Los relojes periféricos son sincronizados tanto por el SNC como por señales ambientales, actividad física y temperatura. Relojes periféricos en tejidos diferentes controlan respuestas fisiológicas relevantes, tales como la producción de glucosa, almacenamiento de grasa y liberación de hormonas. Estas, a su vez, funcionan como señales de precisión para relojes en tejidos extendidos por todo el cuerpo y conectados en último término con el SNC. Así, el sistema circadiano de un organismo es una red de osciladores interconectados y bucles de retroalimentación. La relación entre los relojes central y periféricos y las diferentes maneras por las que señales locales y externas les afectan, es una área de investigación abierta a nuevos descubrimientos.

## ■ Relojes circadianos y salud

La Cronobiología tiene un profundo impacto en nuestra fisiología. Por ejemplo, los relojes circadianos ayudan a regular los patrones de sueño, la alimentación, la liberación hormonal, la presión sanguínea y la temperatura corporal (figura 8). Los relojes moleculares también desempeñan funciones críticas de carácter local en muchos tejidos. La ablación de genes reloj en modelos animales tiene como conse-



**Figura 8.** Rutas del reloj periférico. El marcador circadiano central en el núcleo supraquiasmático (SCN) envía información temporal a los osciladores periféricos a través de inervación autonómica, temperatura corporal, señales hormonales y sensores relacionados con la alimentación. Asimismo, rutas de señalización local pueden afectar a los osciladores periféricos independientemente del SCN. Adaptado de Mohawk J.A et al. Ann. Rev. Neurosci (2012).

cuencia la producción arrítmica de hormonas tales como corticosterona e insulina. Los genes reloj ejercen una influencia profunda en el metabolismo a través del control de gluconeogénesis, sensibilidad a insulina y oscilación sistémica de glucosa sanguínea. El sueño es vital para la función normal del cerebro y la disfunción circadiana se ha ligado a trastornos del sueño, tales como depresión, trastorno bipolar, función cognitiva, formación de memoria y algunas enfermedades neurológicas. En algún caso, trastornos de fase de sueño son debidos a mutaciones en genes del reloj circadiano que dan como resultado ciclos de sueño-vigilia avanzados o retrasados. Algunos estudios han indicado que la falta de alineamiento crónico entre nuestro estilo de vida y el ritmo dictado por nuestro reloj circadiano endógeno, puede estar asociado al aumento de riesgo de varias enfermedades como cáncer, enfermedades neurodegenerativas, trastornos metabólicos e inflamación. Se encuentran en marcha, en la actualidad, numerosos esfuerzos para desarrollar acciones en cronobiología y farmacología orientadas a modificar el periodo, fase y amplitud de los relojes biológicos con objeto de poder llegar a mejorar la salud humana.

## ■ Conclusiones

El descubrimiento de sistemas de retroalimentación autosostenidos de transcripción-traducción como componentes centrales del mecanismo molecular por el que los genes reloj controlan oscilaciones circadianas, ha conducido a un nuevo paradigma en nuestra comprensión de cómo los organismos anticipan y se adaptan a las señales ambientales regulares y diarias tales como la luz. Desde los descubrimientos de los tres laureados elucidando un mecanismo fisiológico fundamental, la biología circadiana ha desarrollado un campo de investigación amplio y dinámico con importantes implicaciones para nuestra salud y bienestar.

## ■ Perfiles biográficos de los laureados

### **Jeffrey C. Hall**



Nació en Brooklyn, Nueva York. Creció en un barrio residencial de Washington D.C. donde su padre trabajaba como periodista de Associated Press destinado en el Senado. La profesión del padre tuvo influencia en el hijo despertando su conciencia de muchas maneras. Fue un buen estudiante, aunque no excepcional, y pensaba en un principio estudiar Medicina cuando entró en Amherst College en 1963. Hacia la mitad de sus estudios de grado

fue cambiando sus preferencias a favor de la ciencia básica. Para el proyecto de fin de grado empezó a trabajar con Philip Ives, un investigador en Genética que estudiaba la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). Como modelo para la investigación, *Drosophila* presentaba un conjunto de ventajas, era de pequeño tamaño y existía la posibilidad de manejarlas en número suficiente grande como para facilitar observaciones.

Con Ives, Hall estudió la recombinación e inducción de la translocación genética en *Drosophila*. El proyecto fue bien y los profesores del Departamento recomendaron que continuara estudios de graduado en la Universidad de Washington, en Seattle, porque existía allí todo un Departamento orientado a la Genética.

Al llegar a Seattle, Hall entró en el laboratorio de *Drosophila* dirigido por Lawrence Stadler. Trabajó con Stadler en varios proyectos comenzando por el análisis de cambios enzimáticos dependientes de la edad en *Drosophila*, pero con el foco en el control del comportamiento cromosómico en la meiosis.

Al cabo de algún tiempo conoció y mereció la atención de Hershel Roman, fundador y Director del Departamento. Roman le acogió y asesoró como científico, y le recomendó para realizar el trabajo postdoctoral con Seymour Benzer en el Instituto Tecnológico de California (CalTech). Benzer era un prestigioso genético que había cambiado el foco de la investigación desde la genética de los virus bacteriófagos a la genética del comportamiento y la neurogenética. Su proyecto estrella era inducir mutaciones al azar en la mosca *Drosophila* y seleccionar mutantes en el comportamiento para profundizar, posteriormente, en la neurobiología del comportamiento.

Tras obtener la aceptación por Benzer, Hall se trasladó a su laboratorio en 1971. Siguiendo la recomendación de Benzer, empezó a trabajar con Doug Kankel, otro estudiante postdoctoral que, junto a un conocimiento detallado de *Drosophila*, era experto en su neuroanatomía. Ambos comenzaron a colaborar en dos proyectos en los que progresaron bastante, aunque Hall dejó el laboratorio de Benzer antes de poder publicar resultados.

Durante el último año como estudiante postdoctoral, Roman recomendó a Hall para varias posiciones y finalmente obtuvo una plaza de Profesor Ayudante en la Universidad de Brandeis en 1974.

Durante los últimos meses en California, Hall y Kankel habían llegado a obtener mutantes en el sexo de *Drosophila* que eran parcialmente machos y hembras (mosaicos) y habían llegado a poder teñir sus nervios para distinguir cuáles eran machos y cuáles hembra. Siguiendo la recomendación de Kankel, Hall comenzó a examinar los mutantes en relación con su comportamiento durante el “cortejo”, en particular en relación con un sonido que el macho emite al hacer vibrar sus alas cuando sigue a la hembra. A mediados de los años 1970, Hall empezó a colaborar con von Schiller en la Universidad de Munich tratando de establecer una relación entre la calidad de dichos sonidos y los mutantes en el sexo. De este modo llegaron a mapear regiones del sistema nervioso de *Drosophila* relacionadas con la regulación del sonido del cortejo. A finales de la década, un estudiante postdoctoral inglés, Bambos Kryacou, trabajando en el laboratorio de Hall, encontró que los sonidos del cortejo se producían con una periodicidad determinada. Rápidamente, Hall estableció una relación con los mutantes *period* encontrados por Konopka en el laboratorio de Benzer. Los mutantes de Konopka presentaban una desviación en los ritmos de sueño-vigilia del ciclo de 24 horas, y Hall sugirió a Kryacou estudiar si estos mutantes presentaban también alteraciones en los ciclos de los sonidos y, para su sorpresa, encontraron que las mutaciones *period* afectaban a los sonidos del cortejo tanto como lo hacían con los ritmos circadianos. Utilizando entonces la tecnología de la genética molecular, Hall, Kryacou y otro colega de la Universidad Brandeis, Michael Rosbash, se pusieron a colaborar con el objetivo de aislar el gen *period*.

La mayoría de los investigadores de los ritmos circadianos, no tenían entonces una formación genética y preferían emplear estudios comparativos con otros organismos, en lugar de aproximaciones experimentales de tipo genético. El único grupo interesado también en el aislamiento del gen *period* era el de Michael W. Young, en la Universidad Rockefeller de Nueva York, que había llegado a esta situación tras los estudios genéticos de Young de una región cromosómica que contenía el gen *white* cercana a donde se localiza el gen *period*.

Tras el clonaje del gen *period* se encontró que la proteína codificada por él no presentaba homología con ninguna proteína conocida y, por tanto, no existían pistas acerca de su posible modo de acción. Finalmente el grupo de Hall y Rosbash, trabajando conjuntamente, comenzaron a comprender el papel de las células marcapasos en el cerebro de la mosca y las oscilaciones de la proteína

codificada por *period* en ellas. Descubrieron así el sistema de retroregulación sostenido que constituye el “corazón” del mecanismo del reloj circadiano. Años más tarde se encontró que este gen tenía homólogos en otros muchos animales, incluido el hombre.

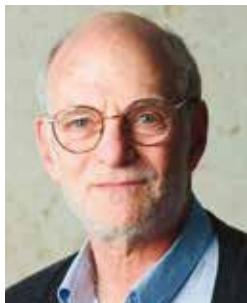
En colaboración con Michel Rosbash y Paul Hardin, Hall descubrió que la proteína *period* (PER) regulaba su propia transcripción. Los tres desarrollaron un modelo de Traducción Transcripción Feedback Loop (TTFL), utilizado como mecanismo central del reloj circadiano de *Drosophila*. En el modelo original *per* producía un aumento de PER. Tras alcanzar cierta concentración, la expresión de *per* disminuía haciendo que los niveles de PER descendieran, lo cual a su vez permitía la expresión de *per*. En 1997, junto a Susan Renn, Jae Park y Michael Rosbash, descubrieron nuevos genes que forman parte del mecanismo TTFL y en particular que una proteína denominada Pigment Dispersed Factor (PDF), que ayuda a controlar los ritmos circadianos y, a su vez, la actividad locomotora de estos genes en las células. A partir de estos datos, establecieron la idea de un oscilador primario en *Drosophila* y de qué PDF permitía la sincronización entre las diferentes células.

Posteriormente, en 1998, Hall contribuyó a dos descubrimientos que permitieron refinar el modelo TTFL en *Drosophila*. El primero fue el descubrimiento de Cryptochrome (CRY). Se trata de un fotoreceptor que regula la actividad motora. Más tarde, estableció la hipótesis de que CRY no solo influía en el ritmo circadiano sino que era una especie de marcapasos. En este mismo año, Hall descubrió que los genes *per* y *timeless* (Tim) estaban regulados. Asimismo que CLOCK y CYCLE (CYC) forman un heterodímero a través del dominio PAS. Tras dimerizar, las dos proteínas se unen al elemento *E-box* del promotor de ambos genes a través de un dominio bHLH para inducir la expresión de *per* y *tim*.

Durante la estancia en Caltech, Hall estudió también un mutante del comportamiento llamado *fruitless* y a mediados de los años 1990, en colaboración con Barbara Taylor de la Universidad de Oregon, aislaron el gen que ha resultado ser un regulador central del proceso del “cortejo”. Casi todas las etapas de este proceso están controladas por este gen. Asimismo y en colaboración con Adriana Villella, estudiaron la expresión del gen en el sistema nervioso de *Drosophila*, definiendo las neuronas en las que se expresa, tratando así de relacionar las regiones cerebrales que influyen en el comportamiento.

Un perfil biográfico de Jeffrey C. Hall no podría completarse sin mencionar su afición por el estudio de la Guerra Civil americana y, en particular, sobre la batalla de Gettysburg sobre la que publicó un libro en 2003.

### **Michael Rosbash**



Michael Rosbash nació en Kansas City, Missouri. Sus padres eran refugiados judíos que abandonaron la Alemania nazi en 1938. La familia se trasladó a Boston cuando él tenía dos años.

Rosbash mostró desde pequeño interés en las matemáticas, pero un curso de Biología en el Instituto Tecnológico de California y un verano trabajando con Norman Davidson, le convencieron para cambiar hacia la investigación biológica. Rosbash se graduó en Caltech en 1965 con un grado en Química. Pasó después un año en el Instituto de Biología Físico-Química en París con una beca Fulbright, y obtuvo el Grado de Doctor en 1970 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), trabajando con Sheldon Penman. Después de pasar tres años como becario postdoctoral en Genética en la Universidad de Edimburgo, Rosbash se unió al claustro de profesores de la Universidad Brandeis en 1974. Está casado con la científica Nadja Abovich y tiene dos hijas.

La investigación de Rosbash se enfocó inicialmente en el metabolismo y procesamiento del mRNA. Tras llegar a Brandeis empezó a colaborar con Jeffrey Hall, investigando las influencias genéticas en los ritmos circadianos de los relojes biológicos internos utilizando la mosca *Drosophila melanogaster* para estudiar patrones de actividad y descanso. En 1984 Rosbash y Hall clonaron el primer gen reloj de *Drosophila*, el gen *period*. Junto con su estudiante postdoctoral Paul Hardin encontraron, asimismo, que la proteína codificada PER mostraba valores fluctuantes durante el ciclo circadiano. En 1990, propusieron el modelo de Transcripción Traducción Feedback Loop (TTFL) como base del ciclo circadiano. Posteriormente descubrieron nuevos elementos, que constituyen otras partes del reloj. En 1998 Rosbash y colaboradores descubrieron un homólogo del gen *Clock* de mamíferos, que hacía la misma función de activar *per* y *tim*, y le llamaron *dClock*. También descubrieron el gen de *Drosophila* equivalente al gen de mamífero *Bmal1*. En noviembre de 1998, Rosbash y colaboradores

descubrieron el mutante de *Drosophila cry* que permitió llegar a la conclusión de que la proteína *criptograma* está implicada en la fotorecepción circadiana.

### **Michael W. Young**



Michael W. Young nació en Miami, Florida, en 1949. Sus padres, profesionales en áreas económicas y del derecho, apoyaron decididamente su interés por las ciencias al regalarle de niño instrumentos de observación de la naturaleza, como microscopios y telescopios. Más tarde su familia se trasladó a Dallas, Texas, donde Young continuó su formación de secundaria. A partir de un libro de Darwin sobre la evolución, tomó conocimiento, por primera vez, de los ritmos biológicos en las plantas, que despertaron en él una gran curiosidad. En la Universidad de Texas conoció a su futura esposa Laurel Eckhardt. Ambos se trasladaron a Stanford para sus estudios post y pre doctorales respectivamente. En la actualidad, Laurel es Profesora de Biología en Hunter College, Michigan, y tienen dos hijas.

Young obtuvo el grado en Biología en la Universidad de Texas, en Austin, en 1971. Tras trabajar con Burke Judd en el genoma de *Drosophila*, obtuvo el grado de doctor en Genética en 1975. En esta época conoció los trabajos de Ron Konopka y Seymour Benzer sobre los mutantes circadianos de *Drosophila*, lo que condujo a su trabajo futuro en la clonación del gen *period*. Young continuó sus estudios como postdoctoral en la Universidad de Stanford trabajando en genética molecular sobre elementos transponibles, con David Hogness. Dos años después, se unió a la Universidad Rockefeller de New York como profesor ayudante. En dicha universidad continuó la carrera académica, siendo nombrado profesor en 1984.

En la Universidad Rockefeller, Young y sus colaboradores, empleando mutantes de *Drosophila* y fragmentos del gen *per*, fueron capaces de restaurar ritmos circadianos del comportamiento de los mutantes.

Más adelante, el laboratorio de Young descubrió nuevos genes circadianos. Un nuevo gen en el cromosoma 2 fue denominado *timeless* y fue clonado y secuenciado. Asimismo encontraron conexiones funcionales entre *tim* y *per*. Concluyeron que las proteínas TIM y PER al asociarse entre sí se acumulan en el núcleo y funcionan como un complejo regulador de genes.

En 1998, Young y su colaborador Price descubrieron una quinasa llamada *doubletime* (caseína quinasa1), que fosforila PER y la marca para su degradación. Cuando PER y TIM se encuentran unidas DOUBLETIME no es capaz de fosforilar PER, y este se acumula. El descubrimiento de mutantes del gen *doubletime* permitió el descubrimiento del Síndrome Familiar de Avance de Fase del Sueño (FASPS) en humanos, que está ligado a un polimorfismo genético en hPer que elimina un aminoácido serina y no puede así ser fosforilado por la quinasa. Estos y otros descubrimientos confirmaron a *doubletime* como un componente necesario del complejo circadiano.

## ■ Bibliografía

- Bargiello, T.A., Jackson, F.R., and Young, M.W. (1984). Restoration of circadian behavioural rhythms by gene transfer in *Drosophila*. *Nature* 312, 752-754.
- Hardin, P.E., Hall, J.C., and Rosbash, M. (1990). Feedback of the *Drosophila* period gene product on circadian cycling of its messenger RNA levels. *Nature* 343, 536-540.
- Liu, X., Zwiebel, L.J., Hinton, D., Benzer, S., Hall, J.C., and Rosbash, M. (1992). The period gene encodes a predominantly nuclear protein in adult *Drosophila*. *J. Neurosci* 12, 2735-2744.
- Price, J.L., Blau, J., Rothenfluh, A., Abodeely, M., Kloss, B., and Young, M.W. (1998). *double-time* is a novel *Drosophila* clock gene that regulates PERIOD protein accumulation. *Cell* 94, 83-95.
- Siwicki, K.K., Eastman, C., Petersen, G., Rosbash, M., and Hall, J.C. (1988). Antibodies to the period gene product of *Drosophila* reveal diverse tissue distribution and rhythmic changes in the visual system. *Neuron* 1, 141-150.
- Vosshall, L.B., Price, J.L., Sehgal, A., Saez, L., and Young, M.W. (1994). Block in nuclear localization of period protein by a second clock mutation, timeless. *Science* 263, 1606-1609.
- Zehring, W.A., Wheeler, D.A., Reddy, P., Konopka, R.J., Kyriacou, C.P., Rosbash, M., and Hall, J.C. (1984). P-element transformation with period locus DNA

restores rhythmicity to mutant, arrhythmic *Drosophila melanogaster*. *Cell* 39, 369-376.





# Premio Nobel de Física 2017

## RAINER WEISS, BARRY C. BARISH Y KIP S. THORNE HAN RECIBIDO EL PREMIO NOBEL EN FÍSICA 2017 POR “CONTRIBUCIONES DECISIVAS AL DETECTOR LIGO Y LA OBSERVACIÓN DE ONDAS GRAVITACIONALES”



El anverso de la medalla muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y defunción OB MDCCXCVI. El reverso de la medalla representa la Naturaleza en la forma de la diosa Isis, emergiendo de las nubes y sosteniendo en su mano una cornucopia, mientras el genio de la ciencia mantiene el velo que cubre su austero y enigmático rostro. La inscripción *Inventas vitam iuvat excoluisse per artes*, tomada de la Eneida de Virgilio (sexta canción, versículo 663) rodea la escena. El nombre del laureado aparece en la inscripción inferior junto con la leyenda REG. ACAD. SCIENT. SUEC, referida a la Real Academia Sueca de las Ciencias. Diseñada por Erik Lindberg, es fabricada desde 2012 por Svenska Medalj in Eskilstuna.

Rafael Bachiller García

### ■ Resumen

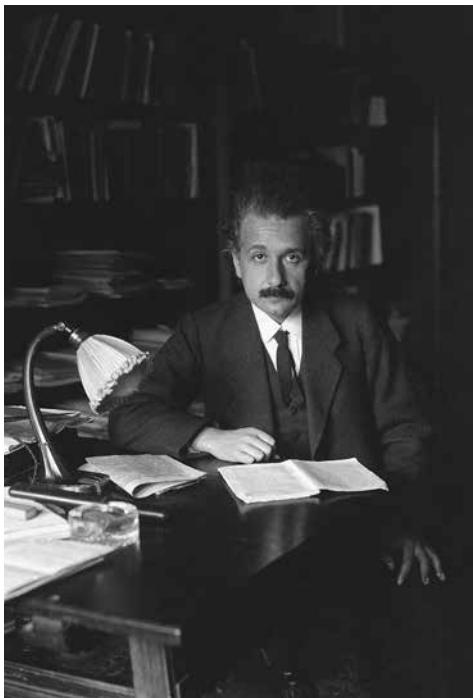
El Nobel de Física 2017 fue concedido a Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip S. Thorne por la detección y observación de ondas gravitacionales con la colaboración LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*). Este hallazgo científico viene a confirmar, definitivamente, la teoría de la relatividad general de Einstein que también fue objeto del Premio Princesa de Asturias 2017 y ha sido

considerado el Descubrimiento del Año en los años 2016 y 2017 por la revista ‘Science’.

Poco después de la concesión del Nobel, la colaboración LIGO confirmó una cuarta detección de este sutil tipo de ondas que deforman el tejido del espacio-tiempo. En el presente artículo recorremos la apasionante historia de todos estos hallazgos, su significado científico y su impacto en el conocimiento humano.

## ■ **La relatividad general de Einstein**

Para comprender el significado físico de las ondas gravitacionales hay que remontarse más de un siglo, concretamente al año 1915, momento de la publicación de la teoría de la relatividad general, sin duda una de las construcciones más bellas y abstractas producidas por la humanidad, una auténtica obra de arte científica que fue pergeñada por la mente de una persona de 36 años de edad, un hombre que, refugiándose de las múltiples condiciones adversas que le rodeaban, trabajaba en solitario: Albert Einstein.



Einstein en su oficina en Berlín, hacia 1920.

En noviembre de 1915, Einstein se encontraba en Berlín y era víctima de varias guerras. La primera, la mundial, había penetrado en los despachos del instituto dirigido por el químico Fritz Haber en donde trabajaba Einstein. Los tres científicos que le habían atraído a Berlín –Max Planck, Walther Nernst y el propio Haber– consternaban a Einstein con su actitud belicista y su colaboracionismo con el ejército. En concreto, Haber, quien había encontrado ya su célebre método para sintetizar el amoníaco, lo que permitía la fabricación masiva de explosivos, se encontraba reorganizando el instituto para dedicarlo a la fabricación de armas químicas para el ejército alemán. La irracionalidad de esta guerra llevó a

Einstein a defender unos ideales sociales y políticos de talante internacionalista y pacifista que mantuvo y acentuó durante el resto de su vida. La segunda guerra la estaba librando Einstein en un plano personal: su separación de Mileva Maric, con dos hijos por medio, era una fuente interminable de amargas desavenencias.

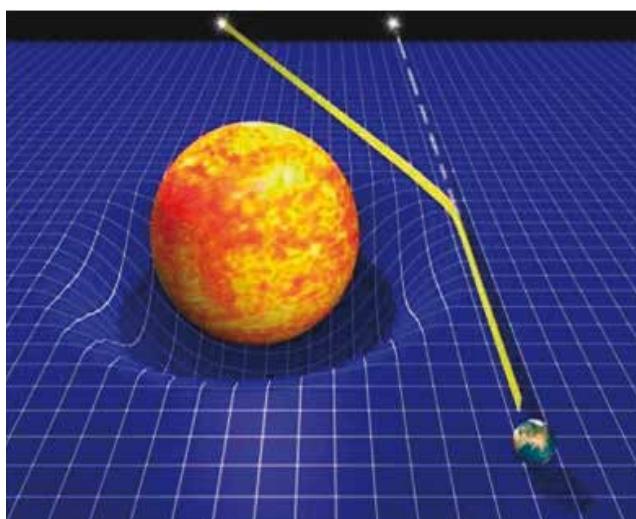
Einstein se refugiaba en el trabajo, pero también libraba una guerra en este plano pues mantenía una frenética competición con David Hilbert, el gran matemático de Gotinga que igualmente se encontraba trabajando, aunque desde un punto de vista puramente matemático, en la deducción de unas ecuaciones para la relatividad general. Según refiere Walter Isaacson, en su excelente biografía de Einstein, este escribió en una carta a su hijo Hans Albert, el 4 de noviembre: 'A menudo estoy tan enfrascado en mi trabajo que me olvido hasta de comer'. Se encontraba además 'agotado y agobiado' por dolores de estómago que no le permitían ir a Gotinga para debatir con Hilbert en persona.

Aún en este estado, Einstein fue capaz de concentrarse en el estudio de los tensores (unos objetos matemáticos similares a las matrices) y de la geometría no-euclídea de cuatro dimensiones, las herramientas que debían permitirle generalizar la teoría de la relatividad que, en una formulación restringida, había enunciado en 1905. Einstein se había comprometido previamente a dar una serie de cuatro conferencias al medio centenar de miembros de la Academia Prusiana en los jueves de noviembre. Y, mientras polemizaba epistolamente con Hilbert, esa serie de conferencias constituyó el estímulo definitivo que le llevó a culminar su teoría.

En la primera de esas conferencias, impartida el día 4, rememoró las numerosas dificultades con que llevaba luchando durante los últimos años para encontrar las ecuaciones que debían regir el comportamiento del campo gravitatorio y puso de manifiesto que las que estaba considerando entonces no eran aún completamente satisfactorias; sabemos hoy que aún le faltaban tres semanas para lograrlo. En la segunda, presentó unas ecuaciones revisadas que no eran substancialmente mejores. En la tercera de las conferencias, el día 18, anunció que sus ecuaciones en el último formato eran capaces de explicar el movimiento de Mercurio (que no podía explicarse con la teoría tradicional de Newton) con total precisión y anunció un nuevo valor para la curvatura que debía sufrir un rayo de luz a su paso por la vecindad solar. El jueves siguiente, el día 25, fue cuando pronunció su famosa y apoteósica conferencia titulada 'Las ecuaciones de campo de la gravitación' en la que presentó el conjunto de ecuaciones que culminaban la teoría de la relatividad general.

Estas diez ecuaciones, conocidas hoy como 'ecuaciones de Einstein', se expresan de una manera sorprendentemente compacta y elegante:  $G = 8 \pi T$ . Es una manera concisa de decir que la geometría del espacio-tiempo (representada por  $G$ ) está determinada por los movimientos de los objetos materiales que se encuentran en su seno (representados por  $T$ ) y, viceversa, que los movimientos de tales objetos están determinados por la curvatura del espacio-tiempo. De acuerdo con estas ecuaciones, espacio, tiempo, materia y energía forman un intricado entramado en el que cada uno de estos elementos tiene un efecto sobre los otros. Este mundo físico es muy diferente pues, a aquel de Newton en el que espacio y tiempo eran unos marcos absolutos inalterables en cuyo seno tienen lugar los movimientos de los cuerpos materiales. Muy al contrario, en el universo de Einstein, una masa situada en una zona del espacio hace que, en su entorno, el tiempo transcurra más lentamente y que el espacio se deforme y, a su vez, esta deformación determina el movimiento de otros objetos próximos.

Tal y como anunció en sus célebres conferencias de 1915, la propagación de la luz debía verse influida por la gravitación, lo que permitiría realizar comprobaciones experimentales. Por ejemplo, un rayo de luz que pase junto al Sol debía desviarse por 1,74 segundos de arco. El astrónomo británico Sir Arthur Eddington propuso entonces que una ocasión para medir la curvatura de la luz la brindaría el eclipse total de Sol del 29 de mayo de 1919. En efecto, durante un eclipse solar es posible observar estrellas brillantes en el entorno del astro rey. Si el Sol es capaz de desviar la trayectoria de los rayos de luz, algunas de estas estrellas brillantes observadas en direcciones cercanas al Sol eclipsado deberían verse en posiciones aparentes diferentes respecto de sus posiciones habituales, medidas cuando el Sol se encuentre en una posición distante del firmamento. La Royal Society organizó dos expediciones a la zona de totalidad del eclipse, una al norte de Brasil y otra a la Isla del Príncipe

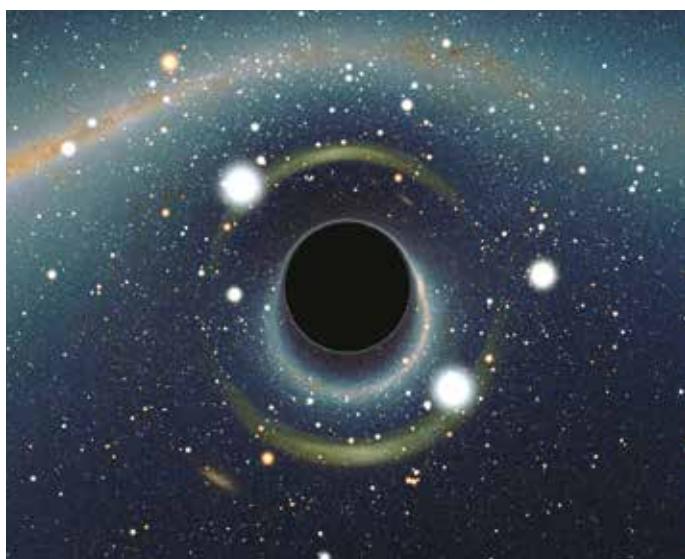


El efecto de una masa sobre la trayectoria de un rayo de luz.

Observadas en direcciones cercanas al Sol eclipsado deberían verse en posiciones aparentes diferentes respecto de sus posiciones habituales, medidas cuando el Sol se encuentre en una posición distante del firmamento. La Royal Society organizó dos expediciones a la zona de totalidad del eclipse, una al norte de Brasil y otra a la Isla del Príncipe

pe, en el golfo de Guinea, para medir las posiciones estelares en la vecindad solar. Eddington comprobó así, de manera espectacular y ante una gran expectación a nivel mundial, que las pequeñísimas desviaciones de los rayos de luz predichas por la relatividad general (1,74 segundos de arco equivalen a media milésima de grado) eran absolutamente reales.

Esta medida de la desviación de la luz venía a sumarse a la explicación precisa del movimiento de Mercurio anunciada en la tercera de las conferencias de la Academia de Prusia. Desde entonces, la teoría ha sido sometida a muchas más pruebas de las que siempre ha salido airosa. La relatividad general resulta hoy imprescindible para calcular las distancias y las propiedades de los objetos más lejanos del universo y, de hecho, es en las condiciones de gravedad extrema, como las que se dan en las proximidades de los agujeros negros, donde la relatividad general produce sus efectos más espectaculares.



Recreación de un agujero negro.

Conviene destacar, sin embargo, que la relatividad general no solo trata de elucubraciones teóricas y de descripciones de situaciones astrofísicas extremas. Como es el caso para otras teorías, la relatividad general es un resultado de la ciencia básica que encuentra grandes aplicaciones tecnológicas en la vida cotidiana. Por ejemplo, gracias a la relatividad general funciona una tecnología que hoy puede parecernos banal: el GPS. En efecto, al estar sometido el satélite a una

fuerza gravitacional menor que la que actúa en la superficie de la Tierra, el tiempo transcurre más rápidamente en el satélite GPS que en el receptor en tierra. Este efecto se suma a otro predicho por la relatividad restringida: la dilatación del tiempo ocasionado por la alta velocidad del satélite. Y ambos efectos, cuando se tienen en cuenta, hacen posible que el sistema GPS funcione correctamente.

## ■ Ondas en el espacio-tiempo

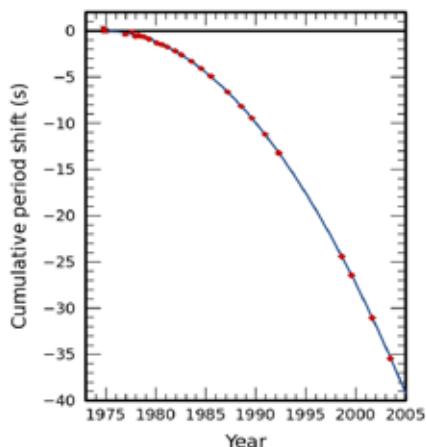
Una consecuencia teórica de la Relatividad General es que cuando las masas se mueven de manera acelerada deben producir unas ondulaciones o ‘arrugas’ en el espacio-tiempo que son conocidas como ondas gravitacionales. Al propagarse, estas ondas comprimen el espacio en algunas zonas y lo estiran en otras. Naturalmente, tras la enunciación de la Relatividad General y la llegada de las primeras pruebas que corroboraban su validez, los físicos se pusieron inmediatamente a pensar en la manera de llegar a detectar las ondas gravitacionales. Sin embargo, se ha necesitado un siglo de trabajo para lograr su detección. Y se ha necesitado tan largo tiempo porque las fluctuaciones producidas en el espacio, por estas ondas, tienen un tamaño típico que es una milésima parte del tamaño de un protón. Para llegar a detectarlas se necesitaban, por un lado, grandes masas (como las contenidas en los agujeros negros) que se muevan y que produzcan una buena cantidad de ondas y, además, un detector de altísima sensibilidad. Estas dos circunstancias se dieron por primera vez en el caso del experimento LIGO (*Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory*).



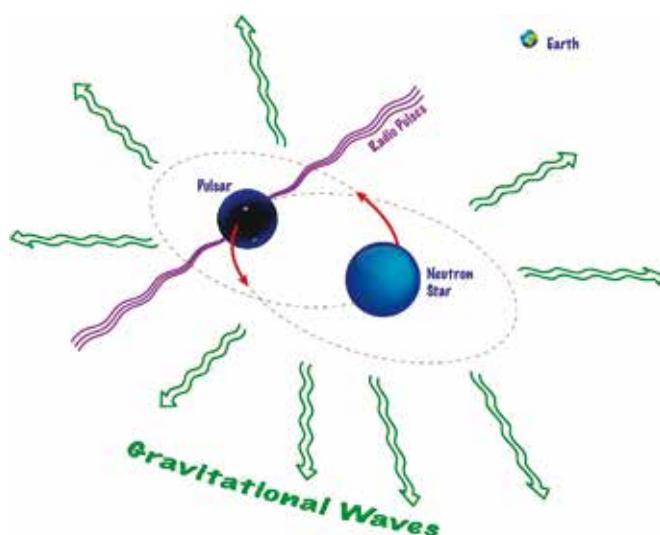
Una estrella de neutrones comparada con la ciudad de Nueva York.

Pero no es esta la primera indicación observational de la existencia de las ondas gravitacionales. En 1993, Russell Hulse y Joseph Taylor recibieron el Nobel de Física por el descubrimiento de un pulsar binario (esto es, un par de estrellas de neutrones orbitándose mutuamente) en el que el periodo orbital se va acortando progresivamente, y este acortamiento sucede de manera completamente consistente con la pérdida de energía por ondas gravitacionales predicha por Einstein en su teoría. Es cierto que no fue una detección directa de las ondas, pero sí una prueba indirecta de enorme valor.

Como hemos dicho, las fluctuaciones producidas en el espacio por estas ondas son minúsculas. Para llegar a detectarlas se necesitaban, por un lado, grandes masas en movimiento, como las contenidas en un sistema binario de agujeros negros. Y además, se precisaban unos detectores de altísima sensibilidad, como el LIGO (en Estados Unidos) o el VIRGO (en Italia), sistemas de detección que



Variación en el tiempo del periodo del pulsar doble de Hulse y Taylor: prueba indirecta de emisión de ondas gravitacionales.

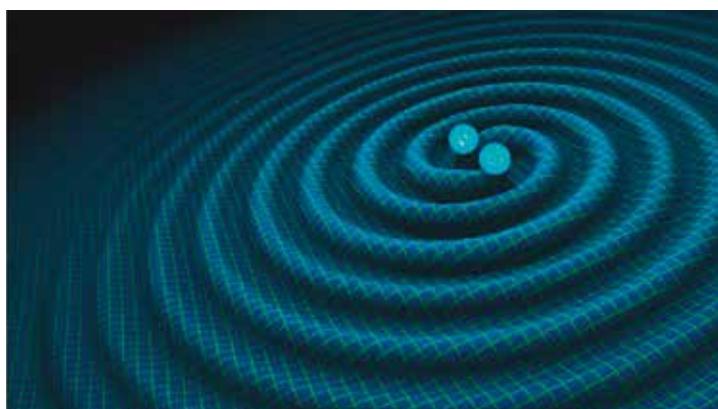


Esquema de la generación de ondas gravitacionales en un par de estrellas de neutrones.

funcionan por el principio de interferometría láser y que representan un auténtico alarde tecnológico en la ingeniería óptica y mecánica. Como decíamos, son sistemas capaces de detectar distorsiones del orden de  $10^{-18}$  metros en una longitud, la milésima parte del tamaño de un protón.

## ■ **El observatorio y la colaboración científica LIGO**

En el observatorio LIGO que, como ya hemos señalado incluye un interferómetro láser, un rayo estrecho de luz láser es dividido y enviado en diferentes direcciones donde los haces luminosos se encuentran con espejos. Tras reflejarse en ellos, los haces de luz son recogidos en un detector. Si una onda gravitacional alcanza el interferómetro, la distancia entre espejos varía ligerísimamente y esta variación se traduce en una leve diferencia de fase entre los haces de luz recogidos por el detector. Estas ondas son tan débiles que cualquier otro fenómeno en las proximidades del interferómetro puede causar ‘ruido’ que las enmascara. Para mejorar la sensibilidad en el proceso de detección, LIGO hace que sus haces de luz recorran 4 kilómetros en cada brazo del interferómetro, los detectores están suspendidos en el aire para evitar todas las vibraciones de la superficie terrestre y, finalmente, el interferómetro se construyó por duplicado, con una antena en el estado de Washington y otra en el de Luisiana, separadas por 3.000 kilómetros, de forma que una vez que llegase una onda extraterrestre pudiese detectarse simultáneamente en los dos lugares, y no quedase la duda de que la detección pudiese ser debida a un fenómeno local. Todo sumado, un espectacular alarde tecnológico.

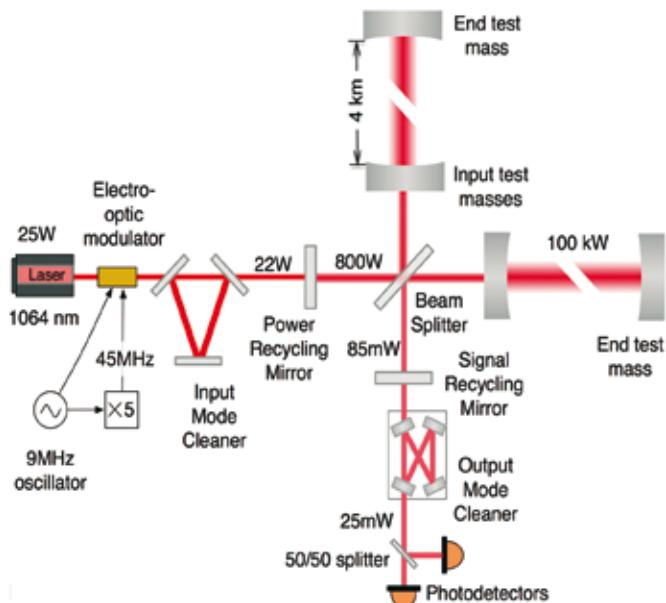


Recreación de la generación de ondas gravitacionales en un par de objetos compactos.

La Colaboración Científica LIGO (LSC, por sus siglas en inglés) es un grupo de 1.167 científicos del campo de la física de más de un centenar de universidades e instituciones de dieciocho países, cuya misión principal es la detección directa de ondas gravitacionales con el objetivo de emplearlas en la exploración de las leyes fundamentales de la gravedad, así como la investigación, desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas para la detección y la puesta en marcha y uso de los detectores de ondas gravitacionales. La LSC desarrolla la investigación de LIGO que, como hemos señalado, es el mayor observatorio de ondas gravitacionales y uno de los experimentos físicos más sofisticados del mundo.



Los dos observatorios LIGO | LIGO.



Esquema del interferómetro de Michelson que conforma cada observatorio LIGO | LIGO.

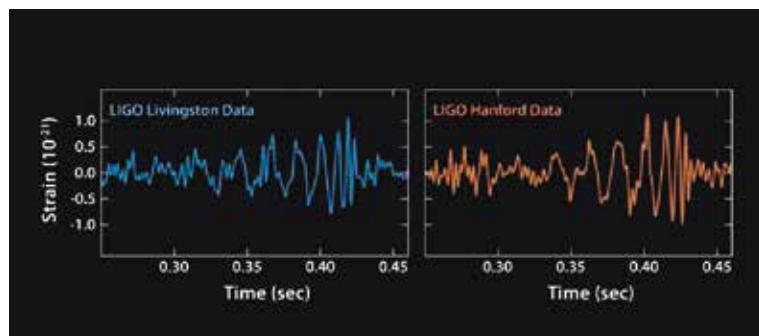
LIGO tiene sus orígenes en los años ochenta y su financiación inicial fue aprobada en 1992, lo que supuso la mayor inversión que la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos había hecho jamás. Está operado por el LIGO Laboratory, un consorcio del Instituto Tecnológico de California (Caltech) y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y constituye un recurso internacional para físicos y astrofísicos de todo el mundo. En los años 2000, el set de detectores se completó con TAMA300 en Japón, GEO600 en Alemania y la Colaboración Virgo en Italia. En 2002, haciendo uso de las combinaciones de estos detectores, se hicieron las primeras observaciones conjuntas, que finalizaron en 2010 sin ninguna detección, aunque los datos recabados sirvieron para un rediseño completo de los instrumentos e infraestructuras. Estas mejoras se estuvieron realizando hasta 2014, cuando el denominado Advanced LIGO comenzó a funcionar con un aumento significativo de la sensibilidad y del volumen del universo a explorar.

La LSC se financia a través de recursos públicos y privados procedentes de instituciones como la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos, el *Science and Technology Facilities Council* de Reino Unido, la Sociedad Max Planck (Premio Príncipe de Asturias de Cooperación Internacional 2013) y el Estado de Baja Sajonia (Alemania), además de otros organismos de Australia, India, Italia, España, Hungría, Corea, Canadá, Brasil, Rusia, Taiwán y Estados Unidos.

## ■ Las detecciones

El 14 de septiembre del año 2015, una débil señal llegó a ambos detectores de LIGO con una diferencia de 7 milisegundos. Tras todas las comprobaciones de rigor, se realizaron simulaciones numéricas con superordenadores que mostraban que esta señal se explicaba perfectamente mediante la fusión de dos agujeros negros de masas en rangos estelares. Concretamente, el modelo que mejor explica las observaciones es el de dos agujeros negros de 29 y 36 masas solares que colisionan para formar uno de 62 masas solares, emitiendo al espacio, en forma de ondas gravitacionales, una energía equivalente a tres veces la contenida en el Sol. Como la colisión tiene lugar en 20 milisegundos, resulta que, durante ese cortísimo periodo de tiempo, la potencia (energía por unidad de tiempo) emitida en el proceso es mayor que la suma de la potencia de todas las estrellas del universo conocido. Así pues, el experimento no sólo corrobora la teoría de Einstein mediante la detección de las ondas gravitacionales, sino que ofrece una nueva prueba de

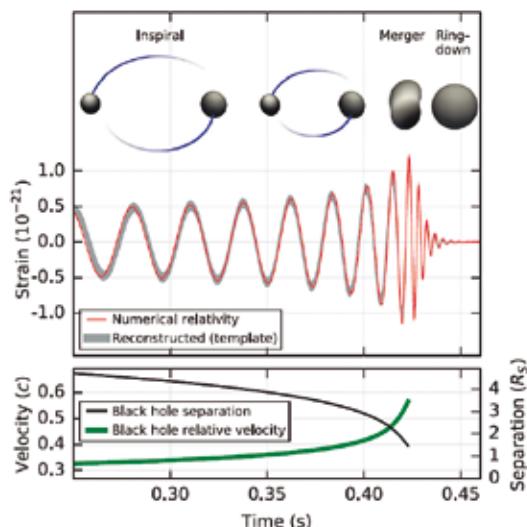
la existencia de los agujeros negros y de la posibilidad de la fusión entre ellos para formar otros más masivos.



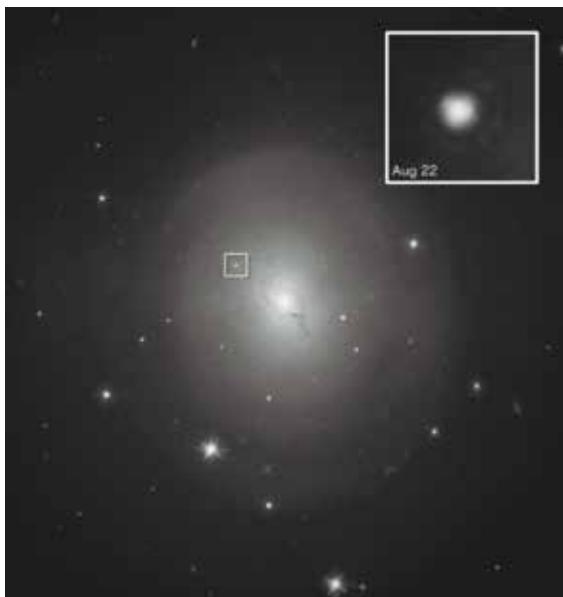
La detección con los dos observatorios LIGO del evento GW150914 | LIGO.

Tras la primera detección, del 14 de septiembre de 2015, LIGO detectó otros tres episodios, todos ellos debidos a la fusión de dos agujeros negros con masas del orden de unas cuantas unidades o decenas de masas solares. El 15 de junio de 2016, se anunció la identificación de un segundo evento de ondas gravitacionales, llamado GW151226, que se había detectado el 26 de diciembre del 2015 en los detectores de Livingston y Hanford. La señal fue detectada en Livingston 1,1 milisegundo antes que en Hanford, lo que permitió calcular la fuente de la señal a 1.400 millones de años luz de distancia. El 1 de junio de 2017 la LSC anunció la tercera detección de ondas gravitacionales, llamada GW170104, procedentes también del choque de dos agujeros negros, que se había producido el 4 de enero anterior. Estos tres descubrimientos fueron hechos públicos en la prestigiosa revista *Physical Review Letters*.

Pero la comunidad astrofísica se revolucionó, quizás más aún, el 17 de agosto de 2017, cuando tanto LIGO como VIRGO detec-



El modelo teórico que explica el evento GW150914 | LIGO.



La galaxia NGC4993 y, en el recuadro el evento kilonova GW170817 | NASA/ESA/HST.

XVIII: fue catalogada como una nebulosa, en 1789 , por el gran astrónomo William Herschel.

En la mayor campaña coordinada de observación de la historia de la astronomía, un gran número de telescopios terrestres y espaciales –entre los que se encontraban casi todos los mayores– apuntaron hacia esa zona del cielo. No se trataba de una búsqueda fácil, pues el área a explorar era unas 150 veces más extensa que la luna llena y se encontraba relativamente próxima al Sol, por lo que sólo era posible observarla en el óptico durante una hora tras el crepúsculo. Pero a pesar de ello, 11 horas después y en un intervalo de tan solo 90 minutos, media docena de telescopios de gran campo habían identificado la aparición de una nueva fuente luminosa en NGC4993 y, a continuación, los telescopios mayores del mundo (tanto desde tierra como desde el espacio) comenzaron observaciones detalladísimas de ese nuevo punto de luz.

Desde agosto hasta ahora, miles de astrónomos han estado trabajando en el análisis de las masivas observaciones. La conclusión es que el evento del 17 de agosto de 2017 se produjo mediante la fusión catastrófica de dos estrellas de neutrones cuya masa conjunta era de 2,8 veces la masa del Sol.

taron un nuevo episodio de ondas gravitacionales: el evento denominado GW170817. La detección fue comunicada inmediatamente a todos los observatorios del mundo. Tan solo dos segundos tras la detección gravitacional, un brote de rayos gamma fue detectado con los telescopios espaciales Fermi (NASA) e INTEGRAL (ESA) en una región en torno la galaxia elíptica NGC4993. Esta galaxia, que se encuentra a 130 millones de años luz de distancia, en la constelación de La Hidra, se conoce desde el siglo

Docenas de artículos científicos fueron publicados el pasado 16 de octubre de 2017 en las revistas más prestigiosas del mundo (*Nature*, *Science*, *The Astrophysical Journal*, *Physical Review Letters*...) dando cuenta del fenómeno GW170817. En el artículo que describe las observaciones de seguimiento tras el descubrimiento participan casi 4.000 coautores de unas 900 instituciones de todo el mundo (por supuesto, varias españolas). Esto representa un tercio de la comunidad mundial de astrónomos profesionales.

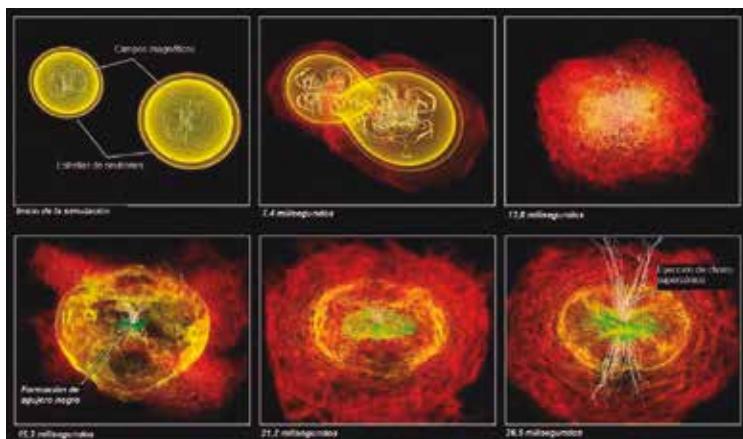
Evidentemente, estas observaciones pioneras abren posibilidades completamente nuevas y están llamadas a originar una auténtica revolución astrofísica. Ahora ya es posible estudiar el comportamiento y composición de objetos sumamente masivos y compactos como las estrellas de neutrones, que concentran una masa mayor que la del Sol en una esfera de diámetro comparable al tamaño de una gran ciudad. Las ondas gravitacionales nos proporcionan una nueva herramienta para observar fenómenos que no eran observables previamente, nos abren una nueva ventana al universo.

## ■ **La génesis del oro y de otros elementos pesados**

Sabemos que el hidrógeno y el helio se formaron hace 13.800 millones de años, en el mismísimo Big Bang. Las primeras estrellas, constituidas exclusivamente por estos dos elementos, mediante las reacciones de fusión nuclear en sus interiores, fueron formando elementos más pesados como el carbono y el oxígeno. Pero por este proceso, tan solo se pueden formar los elementos hasta el hierro. Para formar otros elementos más pesados, como el oro y el platino, se precisa de un ámbito en el que núcleos más ligeros sean bombardeados por neutrones libres. Los astrónomos llevan décadas investigando en qué condiciones astrofísicas puede tener lugar un proceso de este tipo.

Cuando dos estrellas de neutrones colisionan se origina una explosión mil veces más brillante que las de las novas corrientes, de ahí que este tipo de explosiones se hayan designado como 'kilonovas'. Los gases expulsados en una kilonova a altísimas velocidades, de hasta el 30% la velocidad de la luz, poseen neutrones en gran abundancia y, por tanto, parecían lugares muy prometedores para la formación de núcleos más pesados que los del hierro. En los restos de la kilonova, los neutrones van desintegrándose convirtiéndose en protones (radioactividad beta), y estos dos tipos de partículas pueden combinarse entonces para formar núcleos

atómicos que sufren el bombardeo del resto de los neutrones, llegando a formar así los elementos más masivos de la tabla periódica.



Simulación por ordenador de una explosión de tipo kilonova | NASA/AEI ZIB/Koppitz and Rozzolla.

Como hemos indicado más arriba, tras la detección, el 17 de agosto de 2017, de las ondas gravitacionales procedentes de la galaxia NGC4993, se realizaron múltiples observaciones de esta galaxia con los telescopios más potentes del mundo. Las observaciones espectroscópicas realizadas con los mayores telescopios de ESO, como el Very Large Telescope equipado con el instrumento X-Shooter, revelaron la presencia de oro, platino, plomo y tierras raras en la kilonova que siguió a GW170817. Se confirmaba así la teoría de que los elementos más pesados que el hierro se gestan en la evolución del material nuclear que es eyectado al espacio tras la fusión de dos estrellas de neutrones. Se conocen 16 estrellas de neutrones binarias en la Vía Láctea y, a partir de este número, se estima que se da una colisión catastrófica de este estilo cada 50.000 años, aproximadamente. En cada colisión se crea una masa de oro tan grande como la masa de la Tierra, de donde se deduce que las colisiones entre estrellas de neutrones representan un fenómeno suficiente para crear todo el oro que observamos en el Universo.

## ■ **Presente y futuro de los observatorios de ondas gravitacionales**

LIGO era un proyecto de alto riesgo. Comenzado en 1992, este observatorio ha supuesto una de las mayores inversiones realizadas jamás por la *National Science*

*Foundation* (EE.UU.): unos 1.100 millones de dólares (aún así, esto es menos de dos milésimas del presupuesto militar norteamericano en 2015). A pesar de que sus primeras operaciones, entre 2002 y 2010, solo ofrecieron resultados negativos, la NSF atendió una nueva solicitud de los científicos para mejorar el instrumento y dotarlo de mayor sensibilidad. Una decisión que, a tenor de los resultados actuales, resultó ser muy acertada. La claridad de estas detecciones indica que, con sus prestaciones mejorando progresivamente, las nuevas versiones de LIGO serán capaces de detectar muchos más fenómenos de este estilo en un futuro próximo. Además, hay otras antenas gravitacionales empezando a funcionar en diferentes partes del mundo: GEO600 en Alemania, VIRGO en Italia, KAGRA en Japón y el propio LIGO proyecta una nueva estación en India, aprovechando el apoyo del gobierno de este país.

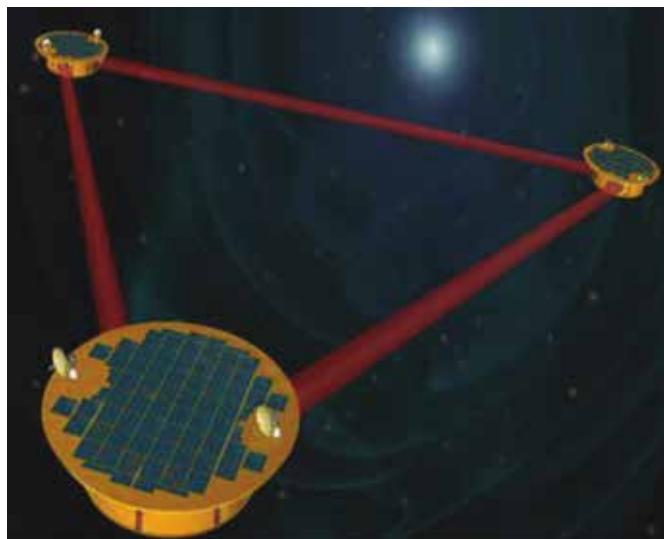


Ilustración del proyecto eLISA | ESA.

Finalmente, la Agencia Espacial Europea se encuentra preparando el proyecto eLISA (Evolved Laser Interferometer Space Antenna) constituido por tres naves espaciales que serían lanzadas hacia el año 2034. Se trata de una versión espacial de LIGO en la que los brazos del interferómetro alcanzan un millón de kilómetros y en la que, obviamente, las distorsiones locales terrestres son completamente inexistentes. Hace tan solo unos meses que una pequeña misión espacial (LISA Pathfinder) ha demostrado la tecnología que permite muy alta precisión en el posicionamiento de objetos suspendidos en el espacio, algo que

es esencial para el interferómetro espacial. El interés de eLISA no solo reside en la mayor sensibilidad respecto de los experimentos terrestres, sino en la capacidad de detectar ondas de frecuencias mucho más bajas. Este detector debería ser capaz, por ejemplo, de detectar las ondas gravitacionales emitidas por el pulsar binario de Hulse y Taylor.

## ■ **Implicaciones de la detección de ondas gravitacionales**

La detección de ondas gravitacionales abre un nuevo capítulo en la observación del universo. Y es que hay fenómenos que no pueden ser estudiados mediante el análisis de la radiación electromagnética (lo que constituye la herramienta fundamental de la astronomía). Los fenómenos relacionados con los agujeros negros y algunos que sucedieron poco después del Big Bang podrán ahora ser estudiados mediante estas ondas y resulta muy difícil prever qué fenómenos nuevos van a descubrirse gracias a ellas.

Aparte del estudio del universo ¿habrá aplicaciones ‘realmente’ prácticas? Desde luego el desarrollo de una tecnología tan exigente como la requerida por estos observatorios encontrará rápidamente aplicaciones en la vida diaria. Pero estas aplicaciones prácticas no son la única motivación de los físicos. Los físicos también estudian las ondas gravitacionales para comprender la gravedad, un ingrediente esencial de la naturaleza, para llegar a explicar y predecir el comportamiento del universo de la manera más precisa posible. El gran físico teórico Richard Feynman lo expresó con su inolvidable sentido del humor: ‘La física es como el sexo: por supuesto puede ofrecernos algunos resultados prácticos, pero esta no es la razón por la que lo practicamos’.

Gracias a la teoría de la relatividad general de Einstein, contemplamos hoy el universo como un todo, un entramado en el que unas bellas ecuaciones describen la interconexión del espacio, el tiempo, la materia y la energía. Esta descripción integral del universo ha tenido una influencia decisiva en todas las teorías de la cosmología moderna que intentan explicar el origen y evolución del universo tratándolo como un ente único y completo. La teoría de Einstein es pues una genial combinación de intuición física y erudición matemática que posee unas implicaciones filosóficas de alcance asombroso. No es extraño que el propio Einstein calificase a esta teoría como ‘el mayor logro de mi vida’.

## ■ Los Premios Princesa de Asturias y Nobel 2017

### *El Premio Princesa de Asturias 2017*

La Fundación Princesa de Asturias anunció en Oviedo, el 14 de junio de 2017, que “los físicos estadounidenses Rainer Weiss, Kip S. Thorne y Barry C. Barish y la Colaboración Científica LIGO han sido galardonados con el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2017”. El jurado de este Premio estuvo presidido por Pedro Miguel Echenique Landiríbar e integrado por Juan Luis Arsuaga Ferreras, Juan Ignacio Cirac Sasturáin, Miguel Delibes de Castro, Luis Fernández-Vega Sanz, Cristina Garmendia Mendizábal, Álvaro Giménez Cañete, Bernardo Hernández González, Clara Menéndez Santos, Sir Salvador Moncada, Ginés Morata Pérez, Enrique Moreno González, Teresa Rodrigo Anoro, Inés Rodríguez Hidalgo, Manuel Toharia Cortés y Santiago García Granda (secretario). La candidatura había sido propuesta por Emilio Méndez Pérez, Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 1998. En esta edición concurrían un total de 39 candidaturas procedentes de 17 países.



Weiss, Thorne, Barish y Laura Cadonati (LIGO) en la ceremonia de los Princesa de Asturias | Casa de S.M. el Rey.

El jurado del Premio reconocía que los físicos Rainer Weiss, Kip S. Thorne y Ronald Drever (fallecido en marzo de 2017) fueron los que, en los años ochenta, propusieron la construcción del Observatorio de Interferometría Láser de Ondas

Gravitacionales (LIGO) para la detección de ondas gravitacionales –ondulaciones en el tejido del espacio-tiempo– predichas por Albert Einstein hacía un siglo en su teoría de la relatividad general. Como veremos en las biografías de los premiados, este observatorio estuvo dirigido, entre 1997 y 2006, por el físico Barry C. Barish, que impulsó la fundación, en 1997, de la Colaboración Científica LIGO, en la que se han integrado investigadores de universidades e instituciones de todo el mundo.

El jurado también reconoció que los detectores LIGO comenzaron a funcionar en 2002 y que trece años después, la Colaboración Científica LIGO anunció la primera detección de ondas gravitacionales procedentes de la colisión de dos agujeros negros de características desconocidas hasta ese momento, lo que supuso un hito en la historia de la física al confirmar la predicción de Einstein y marcó el inicio de un nuevo campo de la astronomía: la astronomía de ondas gravitacionales. Este descubrimiento también se consideró, por el jurado, como uno de los logros científicos más importantes del siglo al validar uno de los pilares de la física moderna –la teoría general de la relatividad– y abrir una nueva ventana para observar el Universo.

El 17 de octubre a las 11 h., previamente a la ceremonia de entrega de los Premios, Rainer Weiss impartió una conferencia de divulgación sobre la historia de las ondas gravitacionales en el IES La Magdalena de Avilés, la conferencia fue dirigida a un público infantil. El jueves 19 de octubre, se celebró, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oviedo, una mesa redonda y encuentro con estudiantes en la que participaron Weiss, Thorne y Barish. La ceremonia de la entrega de los Premios se celebró en el Teatro Campoamor de Oviedo bajo la presidencia de SSMM los Reyes Felipe y Letizia, el 20 de octubre de 2017.

## ***El Premio Nobel 2017***

El día 3 de octubre de 2017, unos días antes de que tuviese lugar la ceremonia de la entrega de premios Princesa de Asturias, el Profesor Göran K. Hansson, Secretario General de la Real Academia de Ciencias de Suecia anunciaba la concesión del Premio Nobel de Física 2017 a los físicos Rainer Weiss, Kip S. Thorne y Barry C. Barish. El Premio se dividía con una mitad para Weiss y la otra mitad compartida por Thorne y Barish. Inmediatamente tras el anuncio, la Profesora Olga Botner, miembro del Comité Nobel de Física, declaraba “Esperamos que las

ondas gravitacionales nos den información sobre el universo oscuro", un deseo bien fundamentado, pues el estudio de estas ondas puede aportar información preciosa sobre la física de los agujeros negros.



Weiss, Barish y Thorne en la ceremonia de los Nobel | Pi Frisk/Nobel Media AB 2017.

El 10 de diciembre de 2017, como cada año en esa fecha, durante una deslumbrante ceremonia en Estocolmo, se entregaron los Premios Nobel 2017 (salvo el de la Paz que tradicionalmente se entrega en Oslo). Para la ocasión, la Fundación Nobel dedicó meses de preparativos que culminaron en la llamada Semana Nobel, la previa al día de entrega, con los premiados ya en Suecia participando en actos diversos. Más de dos mil personas fueron invitadas a la ceremonia final que tuvo lugar en el Palacio de Congresos de la capital sueca bajo la presidencia del rey Carlos Gustavo, quien entrega las medallas y diplomas a los premiados. Año tras año, se trata de la gran fiesta mundial de las letras y las ciencias.

Para la entrega de los Nobel se eligió la fecha del 10 de diciembre por conmemorar el fallecimiento de Alfred Nobel, el inventor de la dinamita y poseedor de 355 patentes, quien llegó a amasar esa inmensa fortuna con la que puso en marcha su Fundación. Aunque relacionado con los explosivos, Nobel fue un pacifista y hombre de letras, además de ingeniero. En el invento de la dinamita, a Alfred Nobel le debió mover la muerte accidental de su propio hermano Emil cuando manejaba nitroglicerina. La dinamita constituyó una gran innovación:

al absorber la nitroglicerina en un material poroso se disminuían los riesgos en el manejo de los explosivos, facilitando su manejo y las operaciones para la detonación.

Vemos pues que las motivaciones de la invención de la dinamita y de la detección de ondas gravitacionales fueron de índole muy diferente. Sin embargo, como en el caso de la dinamita, la detección de ondas gravitacionales conlleva una gran dosis de innovación tecnológica. Las décadas de ingeniería invertidas en los observatorios gravitacionales han supuesto crear sistemas tecnológicos de altísima precisión en los que, por ejemplo, los mecanismos de aislamiento y de suspensión de los espejos protegen los experimentos de todas las perturbaciones imaginables, aunque sean mínimas, como las debidas a la agitación térmica de los átomos en los detectores, o a los microseísmos, por citar algunas. Naturalmente, estos desarrollos tecnológicos son una dinamita innovadora que puede ser utilizada, ahora y en el futuro, en muchísimas otras aplicaciones. La inversión en ciencia puede tardar décadas en dar sus frutos, pero nunca defrauda.

## ■ Biografías de los premiados

### Rainer Weiss



Rainer Weiss |  
Foto: Bryce Vickmark.

Rainer Weiss es un físico estadounidense (de origen alemán) y profesor emérito de física en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Su contribución al descubrimiento de las ondas gravitacionales consistió en la invención y desarrollo de la técnica de interferometría láser, que es la operación básica de la colaboración científica LIGO. Fue además presidente del Grupo de Trabajo Científico del satélite COBE.

Rainer Weiss nació el 29 de septiembre de 1932 en Berlín, Alemania. Huyendo del gobierno nazi, su familia se trasladó primero a Praga, a finales de 1932, y luego a los Estados Unidos, en 1938. Su juventud la pasó en Nueva York, donde asistió a la Escuela de Gramática de Columbia. Estudió en el MIT, donde se doctoró en 1962 con Jerrold Zacharias como director de tesis. Enseñó en la Universidad de Tufts en los años 1960-1962 y fue becario postdoctoral

en la Universidad de Princeton en los años 1962-1964. Posteriormente, en 1964, se incorporó como docente en el MIT.

Weiss trabajó dos campos de la investigación física fundamental desde el nacimiento hasta la madurez: la caracterización de la radiación cósmica de fondo, y la observación de ondas gravitacionales. Realizó medidas pioneras del espectro de la radiación cósmica de microondas, y fue cofundador, además de asesor científico, del satélite COBE. Weiss también inventó el detector de ondas gravitacionales interferométricas, y cofundó el proyecto NSF LIGO. En febrero de 2016, fue uno de los cuatro científicos que presentaron en conferencia de prensa el anuncio de la primera observación directa, en septiembre de 2015, de ondas gravitacionales.

Rainer Weiss ha sido premiado por sus contribuciones a la física en diversas ocasiones. En el 2006, con John C. Mather, él y el equipo de COBE recibieron el Premio Gruber en Cosmología. En el 2007, con Ronald Drever, fue galardonado con el Premio Einstein por este mismo trabajo. Además del Princesa de Asturias y del Nobel 2017, por el logro de la detección de ondas gravitacionales, en 2016 recibió el Premio Especial de Innovación en Física Fundamental y el Premio Harvey, junto con Kip Thorne y Ronald Drever. En el 2017 le fue otorgado el Premio Willis E. Lamb para Ciencia Láser y Óptica Cuántica.

### **Kip S. Thorne**



Kip S. Thorne |  
Caltech Alumni Association.

Kip Stephen Thorne es un físico teórico estadounidense que antes del Nobel ya era conocido por sus numerosas contribuciones en el campo de la física gravitacional y de la astrofísica, y por haber formado a toda una generación de científicos. Viejo amigo y colega de Stephen Hawking y Carl Sagan, ocupó la cátedra 'Profesor Feynman' de Física Teórica en el Instituto Tecnológico de California (CalTech) hasta 2009. Thorne es uno de los mayores expertos mundiales en las aplicaciones a la astrofísica de la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein.

Thorne nació en Logan, Utah, el 1 de junio de 1940. Hijo de los profesores de la Universidad de Utah, D. Wynne Thorne y Alison C. Thorne, químico y economista, respectivamente, creció en un ambiente acadé-

mico. Dos de sus cuatro hermanos también son profesores. Empezó a interesarse en la ciencia a la edad de ocho años, destacando en sus estudios desde temprana edad y llegando a convertirse en uno de los profesores más jóvenes de pleno derecho en la historia del Instituto de Tecnología de California. Recibió su título de grado (Bachelor of Science) en CalTech en 1962, y se doctoró por la Universidad de Princeton en 1965. Escribió su tesis de doctorado, "Geometrodynamics of Cylindrical Systems", bajo la supervisión del físico relativista John Wheeler. Thorne volvió al Caltech como profesor asociado en 1967 y fue nombrado profesor de física teórica en 1970, profesor de la cátedra "William R. Kenan, Jr.", en 1981, y de la cátedra "Profesor Feynman de Física Teórica", en 1991. En junio de 2009, renunció a su cátedra Feynman (ahora es emérito) para desarrollar una carrera profesional como escritor y guionista cinematográfico. En su primer proyecto colaboró con el director Christopher Nolan en la película *Interstellar*.

A lo largo de los años, Thorne ha servido como mentor y tutor de tesis de muchos físicos teóricos de alto nivel que ahora trabajan en los aspectos de observación, experimentación y astrofísica de la relatividad general: aproximadamente cincuenta físicos han recibido títulos de doctorado en Caltech bajo la supervisión directa y personal de Thorne.

Thorne es conocido por su habilidad para transmitir la emoción y el significado de los descubrimientos sobre gravedad y astrofísica tanto en el plano profesional como en el divulgativo. Ha presentado diversos programas de la PBS estadounidense (televisión pública) y la BBC inglesa sobre temas como los agujeros negros, las ondas gravitatorias, la relatividad, el viaje en el tiempo y los agujeros de gusano.

Contrajo matrimonio, en 1960, con Linda Jean Peterson. Tuvieron dos hijos: Kares Anne y Bret Carter, arquitecto. Thorne y Peterson se divorciaron en 1977. Thorne se casó por segunda vez, en 1984, con Carolee Joyce Winstein, profesora de kinesiología y terapia física en la University of Southern California.

La investigación de Thorne se ha centrado principalmente en la astrofísica relativista y la física de la gravedad, con énfasis en la evolución estelar, los agujeros negros y especialmente las ondas gravitatorias. Es conocido por el gran público por su controvertida teoría de que los agujeros de gusano pueden ser utilizados para viajar en el tiempo. Sin embargo, las contribuciones científicas de Thorne, que se centran en el carácter general del espacio-tiempo y la gravedad, cubren la gama completa de temas en relatividad general.

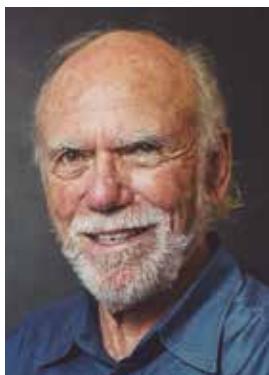
Thorne es considerado una de las pocas autoridades mundiales en ondas gravitatorias. Una buena parte de su carrera la consagró a la predicción sobre ondas gravitatorias y a la manera de observarlas desde la Tierra. Siempre fue un gran defensor del experimento LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory), en cuya fundación participó en 1984. Un aspecto significativo de su investigación es el desarrollo de las matemáticas necesarias para analizar los datos obtenidos con este observatorio. Thorne también ha llevado a cabo análisis de diseño de ingeniería para las características del LIGO que no se pudieron desarrollar cuando se concibió el experimento, y ha aportado asimismo los algoritmos necesarios para los análisis de datos a través de los cuales se efectúan las búsquedas de ondas.

Su contribución fue importante prestando apoyo teórico para la identificación de las fuentes de ondas gravitatorias en que LIGO debería centrarse, el diseño de los deflectores para el control de la luz dispersada en el haz de tubos de LIGO, y –en colaboración con el grupo de investigación de Vladimir Braginsky (Moscú, Rusia)– de los sistemas denominados Quantum Non-demolition (QND) measurement para preservar las mediciones de los detectores avanzados de ondas gravitatorias y los sistemas para reducir el ruido (Ruido de Johnson-Nyquist) en dichos detectores. Con Carlton M. Caves, Thorne desarrolló sistemas de modulación de amplitud en cuadratura de osciladores armónicos, una técnica aplicable tanto en la detección de ondas gravitatorias como en óptica cuántica.

Thorne ha escrito y editado libros sobre temas de teoría de la gravedad y la astrofísica de alta energía. En 1973, fue coautor del libro de texto clásico *Gravitation*, con Charles Misner y John Wheeler, en el que la mayor parte de la actual generación de científicos hemos estudiado la teoría de la relatividad general. En 1994, publicó *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*, un libro de referencia para los no científicos por el que recibió numerosos premios. Este libro ha sido publicado en seis idiomas y está impreso en ediciones en varios idiomas, incluyendo el español. Thorne ha publicado más de 150 artículos en revistas especializadas.

Además del Princesa de Asturias y del Nobel, Thorne ha recibido muchos otros galardones. Entre ellos, el Phi Beta Kappa de escritura científica, la Medalla Schwarzchild de la Sociedad Astronómica de Alemania, la Medalla Niels Bohr de la Unesco, la Medalla Einstein de la Sociedad Albert Einstein de Berna, el Premio Georges Lemaître y un largo etcétera.

## Barry C. Barish



Barry C. Barish |  
Caltech.

Barry C. Barish es el físico experimental norteamericano que dirigió el observatorio LIGO entre 1997 y 2006 y quien impulsó la fundación, en 1997, de la Colaboración Científica LIGO, en la que se han integrado investigadores de universidades e instituciones de todo el mundo.

Barish nació en Omaha, Nebraska, el 27 de enero de 1936. Sus padres fueron unos emigrantes judíos que llegaron a Los Ángeles justo después de la Segunda Guerra Mundial, desde una parte de Polonia que se encuentra ahora integrada en Bielorrusia. En 1957, obtuvo el Grado de Física (B.A.) y en 1962, se doctoró en

Física de Altas Energías en la Universidad de California en Berkeley. Se unió al Instituto de Tecnología de California (CalTech) en 1963, como miembro de un equipo experimental que utilizaba los mayores aceleradores de partículas para sus investigaciones. Desde ese momento, fue pasando sucesivamente por los puestos de Profesor asistente, Profesor asociado y Profesor de Física. Desde 1984 hasta 1996, fue el investigador principal del Grupo de Física de Altas Energías de Caltech. En el periodo 1991-2005, ostentó el cargo de Profesor Linde de Física.

Los primeros experimentos de Barish fueron llevados a cabo en el Fermilab, utilizando colisiones entre neutrinos de muy alta energía para revelar la estructura en quarks de los nucleones. Así se observó la corriente neutral débil que contribuyó a formalizar las teorías de unificación electrodébil de Glashow, Salam y Weinberg. En el año 1980, dirigió el experimento MACRO instalado en una cueva del Gran Sasso (Italia) ideado para la búsqueda de partículas exóticas como los monopolos magnéticos. También estudió allí las propiedades de los neutrinos. En los primeros años de 1990, lideró el experimento GEM (Gammas, Electrones, Muones) para su inclusión en el Superconducting Super Collider, un proyecto que fue cancelado en 1993 por limitaciones presupuestarias.

Barish pasó a ser investigador principal de LIGO en 1994 y su director en 1997. En 1994 coordinó todos los esfuerzos que condujeron a la aprobación de su financiación por parte de la National Science Foundation (NSF). En 1997, creó la Colaboración Científica LIGO que cuenta hoy con más de 1.000 colaboradores

repartidos por todo el mundo y que tienen como misión la explotación científica de los resultados. La propuesta para incrementar las prestaciones de LIGO (Advanced LIGO) fue desarrollada mientras Barish era director. E incluso tras el término de su mandato, en el año 2006, ha continuado jugando un papel muy destacado en el Observatorio. Tras la detección del evento del 14 de septiembre de 2015, fue Barish quien realizó la primera presentación de este descubrimiento a una audiencia de científicos reunidos en el CERN, el 11 de febrero de 2016, presentación que se realizó de manera simultánea con el anuncio público.

Entre 2001 y 2002, Barish fue copresidente del Panel Consultivo de Física de Altas Energías que elaboró una estrategia a largo plazo para el desarrollo de esta disciplina en EE.UU. Entre muchos otros cargos, en comités de muy alto nivel, también ocupó el de Director del esfuerzo global para el diseño del Colisionador Lineal Internacional (ILC), el proyecto más ambicioso del mundo en física de partículas que debe venir a complementar al LHC del CERN para explorar los rangos de energías de los TeV.

Barish está casado, tiene dos hijos, Stephanie Barish y Kenneth Barish, profesor y catedrático de Física y Astronomía en la Universidad de California en Riverside, y tres nietos.

Además del Princesa de Asturias y del Nobel de 2017, Barish ha recibido muchos otros premios y honores. En el 2002, recibió el Klopsteg Memorial Award de la Asociación Americana de Profesores de Física. En el Festival mundial de Física de 2016, fue designado como 'Titán de la Física'. En 2016, recibió el Premio Enrico Fermi, y en 2017, la Medalla Henry Draper de la Academia de Ciencias de EE.UU., el Premio Giuseppe y Vanna Cocconi de la Sociedad Europea de Física y el Premio de Ciencia Fudan-Zhongzhi.

## ■ Otros Premios

Señalaremos, finalmente, que previamente a la concesión del Príncipe de Asturias y del Nobel de Física, inmediatamente tras el hallazgo de las ondas gravitacionales, Ronald Drever, Kip S. Thorne y Rainer Weiss ya habían sido galardonados, conjuntamente, en 2016 con el Special Breakthrough Prize in Fundamental Physics (compartido con el equipo que firmó el artículo científico), el Gruber Prize in Cosmology (EE.UU.), el Shaw Prize in Astronomy (Hong Kong), el Smithsonian

American Ingenuity Award in the Physical Sciences (compartido también con Barry C. Barish) y el Kavli Prize in Astrophysics, que conceden la Academia Noruega de Ciencias y Letras, la Fundación Kavli (Estados Unidos) y el Ministerio de Educación e Investigación de Noruega.

## ■ Bibliografía

- Abbott, B. P. et al. (2016). *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, Physical Review Letters, vol. 116, 061102.
- Bartusiak, M. (2017). *Einstein's Unfinished Symphony: The Story of a Gamble, Two Black Holes, and a New Age of Astronomy*, Yale University Press.
- Collins, H. (2004). *Gravity's Shadow: The Search for Gravitational Waves*. University of Chicago Press.
- Collins, H. (2017). *Gravity's Kiss: The Detection of Gravitational Waves*, MIT Press.
- Isaacson, W. (2008). *Einstein. Su vida y su universo*. Ed. Debate.
- Kennefick, D. (2007). *Traveling at the Speed of Thought: Einstein and the Quest for Gravitational Waves*. Princeton University Press.
- Levin, J. (2016). *Black Hole Blues and Other Songs from Outer Space*. Knopf.
- Sánchez Ron, J.M. (2015). *Albert Einstein. Su vida, su obra y su mundo*. Ed. Crítica, Drakontos.
- Sintes, A.M. y Borja, S. (2017). *La observación de ondas gravitacionales con LIGO*. Investigación y Ciencia, febrero de 2017.
- Thorne, K. S. (1994). *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. W. W. Norton & Company.

## **Recursos en Internet**

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

[www.ligo.caltech.edu](http://www.ligo.caltech.edu)

[www.advancedligo.mit.edu](http://www.advancedligo.mit.edu)

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

*Hear the chirp/the sound of two black holes colliding.* [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=1&v=egfBaUdnAyQ](https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=egfBaUdnAyQ)

Barish, C. B. (2017, 13 January). *The Long Odyssey from Einstein to Gravitational Waves. The Royal Swedish Academy of Sciences.* [http://kva.screen9.tv/media/1OtpBoqgCGvsg\\_ifTD8kkg/the-long-odyssey-from-einstein-to-gravitational-waves](http://kva.screen9.tv/media/1OtpBoqgCGvsg_ifTD8kkg/the-long-odyssey-from-einstein-to-gravitational-waves)

Thorne, K. S. (2016, 25 May). *Disturbed Kerr Black Holes. The Royal Swedish Academy of Sciences.* <http://kva.screen9.tv/media/wkdjHKIXoijrB-sc0i9LKA/disturbed-kerr-black-holes>

LIGO Generations. (2015). Kai Staats, <https://vimeo.com/115282354>

LIGO, a passion for understanding. (2014). Kai Staats, <https://vimeo.com/88437726>





## Premio Nobel de Química 2017

# JACQUES DUBOCHET, JOACHIM FRANK Y RICHARD HENDERSON RECIBEN EL PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2017 POR “DESARROLLAR LA MICROSCOPIA CRIO-ELECTRÓNICA PARA LA DETERMINACIÓN ESTRUCTURAL DE BIOMOLÉCULAS EN SOLUCIÓN CON ALTA RESOLUCIÓN”



El anverso de la medalla muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y defunción OB MDCCXCVI. El reverso de la medalla representa la Naturaleza en la forma de la diosa Isis, emergiendo de las nubes y sosteniendo en su mano una cornucopia, mientras el genio de la ciencia mantiene el velo que cubre su austero y enigmático rostro. La inscripción *Inventas vitam iuvat excoluisse per artes*, tomada de la Eneida de Virgilio (sexta canción, versículo 663) rodea la escena. El nombre del laureado aparece en la inscripción inferior junto con la leyenda REG. ACAD. SCIENT. SUEC, referida a la Real Academia Sueca de las Ciencias. Diseñada por Erik Lindberg, es fabricada desde 2012 por Svenska Medalj in Eskilstuna.

Sebastián Cerdán García-Esteller  
María Luisa Gandía González

### ■ Introducción

Las contribuciones de los científicos Jacques Dubochet (Suiza, 1945), Joachim Frank (Alemania, 1948) y Richard Henderson (Reino Unido, 1947) han permitido obtener, con microscopía electrónica de transmisión, imágenes de alta resolución

de la estructura de macromoléculas biológicas en condiciones muy similares a las que prevalecen *in vivo*. Sus aportaciones superan muchas de las limitaciones de la tecnología previa, mediante una elegante combinación de abordajes metodológicos de vitrificación, reconstrucción tridimensional a partir de proyecciones bidimensionales y microscopía electrónica de transmisión con alta resolución. Estas contribuciones culminan una espectacular serie de desarrollos tecnológicos que han permitido, recientemente, interpretar algunos mecanismos fundamentales de la biología, la fisiología y la medicina en función de las estructuras moleculares que los soportan, ayudando también en la caracterización de nuevas dianas terapéuticas y en el desarrollo de nuevos tratamientos farmacológicos.

Esta revisión comienza aportando una breve reseña histórica y conceptual de los abordajes previos más importantes, continúa con una descripción abreviada de la microscopía crio-electrónica y de algunas de sus aplicaciones más espectaculares, y concluye con las biografías abreviadas y contribuciones más relevantes de los tres galardonados.

## ■ **Antecedentes e inspiración**

Muy probablemente, fue Anton van Leeuwenhoek (Delft, 1684) quien, al descubrir el microscopio óptico, abrió por primera vez la posibilidad de explorar estructuras biológicas invisibles al ojo humano, constituyendo el primer precedente en la biología estructural actual. Jean-Baptiste de Lamarck (Bazentin, 1744) propuso, más tarde, que “la función crea el órgano, y la necesidad, la función”, proporcionando así el marco evolutivo y el soporte intelectual a los abordajes reduccionistas de la biología estructural contemporánea, “la función biológica viene determinada por la estructura molecular de sus componentes”. Ambas contribuciones proporcionan un ejemplo preclaro de cómo, los avances metodológicos y conceptuales, preceden una pléthora de aplicaciones con repercusiones fundamentales en Biología. Sin embargo, debieron transcurrir más de dos siglos, para que la microscopía óptica de Leeuwenhoek evolucionase hasta las microscopías avanzadas actuales, y la propuesta de Lamarck encontrase su proyección conceptual a nivel molecular, enmarcando así el espectacular progreso de la biología estructural actual.

Brevemente, a mediados del siglo XX se desarrollaron métodos bioquímicos para determinar las estructuras primarias de las proteínas y ácidos nucléicos. Sin embargo, sus estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias permanecían

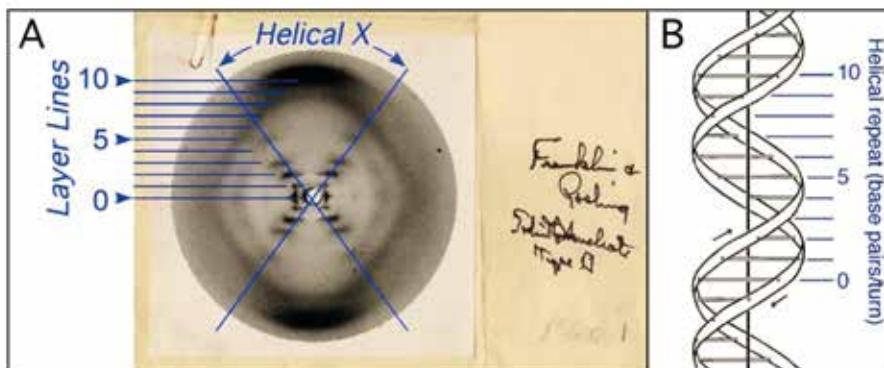
aún inaccesibles a los científicos, hasta que se pudieron establecer las primeras estructuras tridimensionales de estas macromoléculas, a mediados del siglo XX. Estas se han completado, ya en el siglo XXI, con una enorme batería de nuevas metodologías que permiten alcanzar, con una resolución espacial sin precedentes, la estructura tridimensional de las macromoléculas biológicas, sus ensamblajes e interacciones en complejos supramoleculares, su dinámica molecular y la ultraestructura de virus, bacterias, células eucarióticas y tejidos.

Las siguientes secciones describen los avances más relevantes en las metodologías que conforman la biología estructural actual, proporcionando las bases del entorno científico que favoreció el desarrollo posterior de la microscopía crio-electrónica.

### ***Cristalografía por difracción de rayos X***

Seguramente, Wilhelm Roentgen no podría anticipar que su descubrimiento de una radiación de naturaleza desconocida, en 1895, por la que recibió el primer Premio Nobel de Física, en 1901, podría alcanzar posteriormente tan importantes aplicaciones en biología estructural. Pronto se descubrió la naturaleza electrónica de los rayos X y el principio Luis de Broglie describió su comportamiento dual como onda y corpúsculo simultáneamente, obteniendo por ello el Premio Nobel de Física en 1929. Con anterioridad, Max Von Laue había descubierto que la reducidísima longitud de onda de los rayos X, les permitiría difractarse como la luz en redes cristalinas, describiendo distancias interatómicas de 10Å en la red, y recibiendo por ello el Premio Nobel de Física en 1914. Esta propiedad fue utilizada por Carl y Lawrence Bragg para establecer las leyes de difracción que llevan su nombre y obtener las primeras estructuras con resolución atómica de cristales de cloruro sódico en el laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge. Estas aportaciones seminales, a la cristalografía de rayos X, merecieron el Premio Nobel en Física en 1915, convirtiendo posteriormente a este laboratorio en el *Sancta Sanctorum* de la biología estructural actual. Seguidamente, Summer demostró, por primera vez, que era posible obtener cristales del enzima ureasa purificada a homogeneidad, y Linus Pauling propuso su teoría de enlace químico y sus implicaciones en la determinación estructural, por lo que ambos recibieron los Premios Nobel de Química en 1946 y 1954, respectivamente. Desde entonces, la difracción de rayos X se ha convertido en la principal herramienta para la determinación de la estructura tridimensional de proteínas y ácidos nucleicos cristalizables, contribuyendo varios de los descubrimientos más importantes del siglo XX. Notablemente,

Max Perutz y John Kendrew, también del Laboratorio Cavendish, propusieron, en 1942, las soluciones para el reconocido “problema de la fase”, una limitación común en la cristalografía de rayos X, utilizando sustituciones con átomos pesados en los cristales de mioglobina. En 1957, toda la comunidad científica contempló, asombrada, la primera estructura tridimensional de la mioglobina del esperma de ballena. Pocos años antes, en 1953, James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins, empleados también del laboratorio Cavendish, dirigido entonces por Lawrence Bragg, dedujeron la estructura en doble hélice del ácido desoxi-ribonucleico (ADN) a partir de los diagramas de difracción de fibras de ADN producidas por Rosalind Franklin (figura 1).



**Figura 1.** Diagrama de difracción de rayos X de fibras de ADN obtenido por Rosalind Franklin que sirvió de base a la propuesta de la estructura en doble hélice del ADN.

El año 1962 fue especialmente significativo en la historia de la difracción de rayos X, concediéndose el premio Nobel de Química a Perutz y Kendrew y el de Fisiología y Medicina a Watson y Crick, confirmando el papel dominante de la difracción de rayos X como la herramienta primordial en la elucidación de la estructura de macromoléculas biológicas cristalizables. Desde entonces, numerosos Premios Nobel de Química han sido concedidos a la determinación estructural de los mecanismos que soportan procesos biológicos tan fundamentales como el centro de reacción fotosintético (Deisenhofer, J., Huber, R. y Michel, H., Nobel 1988), el mecanismo de la síntesis de ATP (Walker, J.E., Nobel 1997), la estructura y función del canal de potasio (MacKinnon, R., Nobel 2003), la RNA polimerasa como base de la transcripción (Kornberg, R., Nobel 2006), el ribosoma como base de la traducción (Ramakrishnan, V., Steitz, T.A. y Yonath, A.E., Nobel 2009) y la estructura y función de los receptores acoplados a proteínas G (Kobilka, B.K., Nobel 2012). Estos ex-

celentes resultados ilustran adecuadamente el papel dominante de la difracción de rayos X como herramienta fundamental en la biología estructural actual.

Sin embargo, y a pesar de sus innegables ventajas, la difracción de rayos X presentaba limitaciones muy considerables. En primer lugar, resultaba sólo aplicable a proteínas o ácidos nucleicos cristalizados, en estado sólido, una circunstancia que las alejaba de su entorno nativo, y dificultaba considerablemente la determinación estructural de macromoléculas no cristalizables, especialmente de aquellas imbricadas en las membranas biológicas. En segundo lugar, el proceso de cristalización requería abundantes cantidades de la molécula investigada, resultando difícilmente aplicable a proteínas o ácidos nucleicos escasamente abundantes e involucrando así, importantes esfuerzos preparativos a gran escala, específicamente en procesos de sobre-expresión y purificación. Finalmente, el proceso de cristalización disminuía apreciablemente la hidratación, disminuyendo la información sobre el comportamiento de estas macromoléculas en solución y sobre su dinámica intra- e intermolecular. Estas limitaciones sirvieron, sin duda, de estímulo y acicate para el desarrollo de métodos complementarios como los descritos en las siguientes secciones.

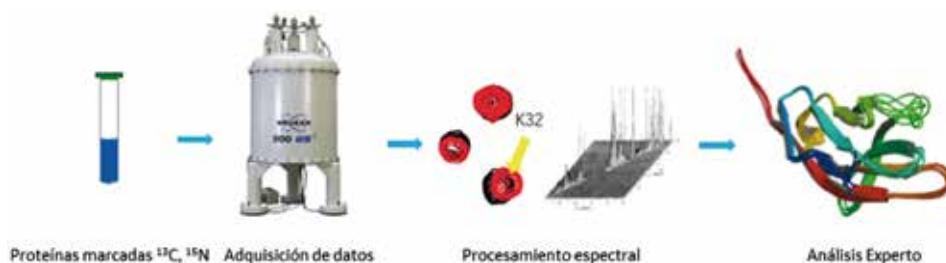
### ***Cristalografía por difracción de neutrones***

La cristalografía biológica actual no está limitada a la difracción de rayos X. Los neutrones también poseen naturaleza dual onda-partícula y pueden ser difractados por redes cristalinas. Las cristalografías de rayos X y de neutrones son complementarias, pues los rayos X interaccionan con las nubes electrónicas que rodean a los núcleos y los neutrones interaccionan principalmente con los núcleos de hidrógeno, más difíciles de detectar por rayos X, pues solo contienen un electrón. La difracción de neutrones no amenaza la supremacía de técnicas de difracción de rayos X, pues los haces de neutrones son relativamente débiles, la adquisición de los datos requiere cristales muy grandes, períodos de adquisición de días, en comparación con los minutos de los rayos X, y está restringida a macromoléculas menores de 0,02  $\mu\text{m}$ . Estas limitaciones imponen la utilización de grandes instalaciones de sincrotrón capaces de generar neutrones de elevadísima homogeneidad y energía. Gracias a los recientes avances en fuentes de neutrones de gran intensidad, detectores y software de procesamiento, la difracción de neutrones actual permite producir información con resolución atómica y mantiene un valor muy elevado en la biología estructural actual. En particular, ha revelado

su enorme potencialidad para establecer los mecanismos de muchas reacciones enzimáticas que involucran transferencia de átomos de hidrógeno, proteasas, esterasas, isomerasas y reductasas, y cuya estructura había sido determinada previamente mediante difracción de rayos X.

## **Resonancia Magnética Nuclear**

Detectada en 1939, por Isaac Rabi, como una propiedad magnética en sus haces moleculares, fue descubierta como herramienta analítica simultáneamente por Felix Bloch y Frank Purcell en 1953, por lo que los tres recibieron los Premios Nobel de Física en 1944 y 1952, respectivamente. Sin embargo, fueron Richard Ernst y Kurt Wütrich, quienes desarrollaron la Espectroscopía por Resonancia Magnética Nuclear (RMN), proporcionando sus abordajes por transformada de Fourier, sus desarrollos multidimensionales y sus aplicaciones como una nueva herramienta de biología estructural. Estas contribuciones merecieron los Premios Nobel de Química y Fisiología y Medicina para ambos, en 1991 y 2002, respectivamente.



**Figura 2.** Secuencia de trabajo abreviada en la determinación de estructuras tridimensionales en solución, mediante RMN de alta resolución.

La RMN no utiliza la difracción como herramienta, sino que se basa en principios físico-químicos completamente diferentes. Brevemente, los núcleos con número cuántico de spin  $1/2$  se comportan como pequeños imanes cuando se sitúan en un campo magnético, excitándose mediante radiación de radiofrecuencia específica y relajándose intra- e intermolecularmente por su interacción con el entorno o con los núcleos más próximos. La interacción entre el campo magnético externo y el núcleo observado está modulada por la nube electrónica que rodea al núcleo, por lo que el mismo núcleo puede “resonar” a distintas frecuencias (o diferente desplazamiento químico) dependiendo de su apantallamiento electrónico caracte-

rístico. Dado que los apantallamientos electrónicos son diferentes (en la mayoría de los casos) para los diferentes núcleos de una molécula, o sus diferentes funcionalizaciones químicas, cada núcleo puede ser distinguido de los demás por su frecuencia de resonancia. Sin embargo, muy frecuentemente, estas diferencias en apantallamiento son demasiado pequeñas para poder ser resueltas con los campos magnéticos disponibles actualmente, por lo que el “solapamiento” de resonancias constituye una de las principales limitaciones, aliviada en gran parte mediante el desarrollo de los métodos bi- o multidimensionales.

Similarmente, la estructura de la resonancia de cada núcleo, conocida por “multiplicidad”, viene influenciada por la presencia de núcleos vecinos unidos a él mediante enlace covalente, originando los “acoplamientos” homonucleares o heteronucleares que permiten determinar el ángulo diedro que forman los núcleos y enlaces que interaccionan y su conformación. Martin Karplus describió la ecuación que rige esta interacción y que lleva su nombre, lo que permitió desarrollar el análisis conformacional por RMN y la determinación estructural posterior mediante métodos computerizados. Su contribución, junto con las de Arieh Warshel y Michael Levitt en modelos multiescala de sistemas químicos complejos, merecieron el Premio Nobel de Química en 2013.

Finalmente, es posible transferir magnetización “a través del espacio” entre núcleos cercanos, de manera estrictamente dependiente de su distancia interatómica, mediante el Efecto Nuclear Overhauser. En resumen, estas propiedades hacen posible establecer conectividades en el espacio entre dos o más núcleos vecinos, averiguar el ángulo que forman y determinar sus distancias internucleares, mediante RMN (figura 2).

Las primeras estructuras utilizaban  $^1\text{H}$  RMN, pero la eficacia de la tecnología se incrementó notablemente al introducir sustituciones de  $^{13}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}$ , en uno o más de los núcleos de la macromolécula. Esto permitió obtener información estructural no sólo de las interacciones  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$ , sino  $^1\text{H}$ - $^{13}\text{C}$  y  $^1\text{H}$ - $^{15}\text{N}$ , llegando a establecer estructuras 3D de péptidos, proteínas y ácidos nucleicos pequeños en solución, sin la necesidad de generar cristales. Debido a la dificultad técnica y conceptual del abordaje, sólo fue en 1985, cuando se pudo resolver la primera estructura por RMN, ante el escepticismo de la comunidad de cristalógrafos de rayos X. A pesar de esta desconfianza inicial en el método, hoy en día se considera un método completamente validado y robusto para establecer la estructura, dinámica e interacciones de moléculas biológicas de moderado peso molecular en solución.

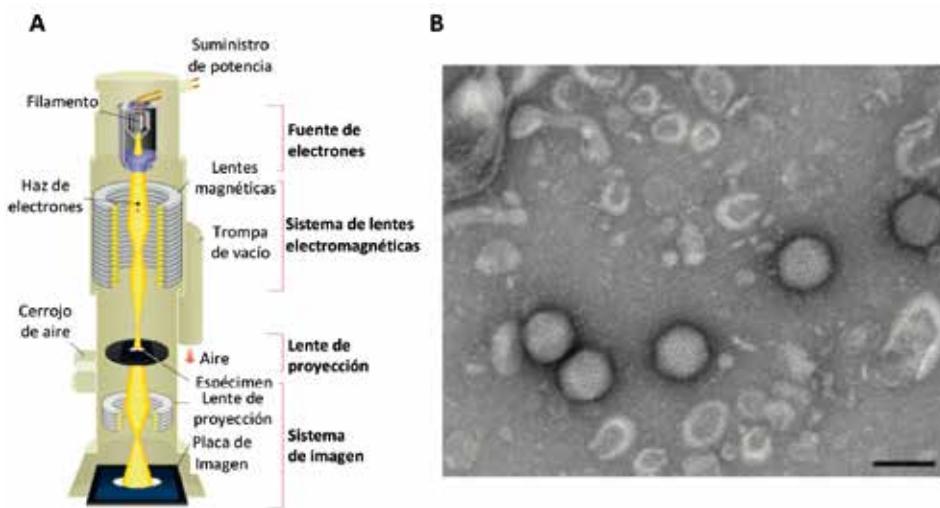
Entre las ventajas más importantes de la RMN, destaca el hecho de que se puedan determinar estructuras de proteínas y ácidos nucleicos en solución, sin necesidad de preparar cristales. La RMN también permite estudiar la dinámica intra- e intermolecular de las estructuras observadas, permitiendo caracterizar adecuadamente las dinámicas moleculares del esqueleto peptídico, de las cadenas laterales y de los procesos de plegamiento y desnaturalización. Entre sus inconvenientes cabe mencionar, además de la elevada envergadura económica de la instrumentación requerida, la escasa sensibilidad de la técnica, que impone estudiar soluciones proteicas en alta concentración que no formen agregados ni precipiten, así como la utilización de protocolos sofisticados de marcaje isotópico y sobre-expresión a gran escala. Finalmente, la complejidad de los espectros RMN aumenta con el peso molecular, por lo que solamente resultan accesibles a su determinación estructural, proteínas de tamaño pequeño o mediano (< 80 kD).

## ***Microscopía electrónica de transmisión***

Las limitaciones de la microscopía óptica descubierta por Leewenhoek, fueron puestas de manifiesto por primera vez por Ernest Abbe en 1873. Brevemente, Abbe indicó que las dimensiones finitas de las lentes y aperturas, originarían difracción de luz, el fenómeno físico por el que radiaciones electromagnéticas se dispersan al pasar por redes estrechas. Abbe demostró que la luz visible, con una longitud de onda aproximada de 0,5  $\mu\text{m}$ , sólo podría resolver objetos con un tamaño superior a la mitad de la longitud de onda utilizada, aproximadamente de unos 200 nm. De acuerdo con esto, solamente las células bacterianas ( $\sim 1\mu\text{m}$ ), células eucarióticas ( $\sim 10\text{-}100\ \mu\text{m}$ ), o sus estructuras sub-celulares más grandes, como núcleos ( $\sim 5\ \mu\text{m}$ ) o mitocondrias ( $\sim 1\ \mu\text{m}$ ), podrían visualizarse con el microscopio óptico. En estas condiciones, la microscopía óptica no ofrecía esperanza alguna para poder visualizar los componentes macromoleculares de las células como las proteínas, ácidos nucleicos o lípidos, con tamaños entre 0,002 y 0,05  $\mu\text{m}$ , y mucho menos sus componentes atómicos de un tamaño aproximado de 0,0001  $\mu\text{m}$  (0,1 nm o 1 Å).

Sin embargo, los rayos X presentaban una longitud de onda significativamente inferior a la radiación visible o ultravioleta (0,1 nm), por lo que podrían resolver, en principio, las distancias interatómicas. Sin embargo, no existían máquinas capaces de utilizar los electrones para obtener imágenes de macromoléculas con alta resolución. Ernst Ruska y Marcus Knoll construyeron el primer microscopio

electrónico, cuando trabajaban para SIEMENS AG, entre 1925 y 1932. Su diseño involucraba una fuente generadora de electrones, acelerados por una fuerte diferencia de potencial (aproximadamente 200kV o más), enfocados sobre la rejilla con la muestra utilizando condensadores, que finalmente impresionaban una placa fotográfica con la imagen resultante de la transmisión de los electrones a través de la muestra investigada (figura 3A). Todo el conjunto, incluyendo el ánodo y cátodo de producción de electrones y aceleración, los condensadores de enfoque, la rejilla de la muestra y la placa fotográfica, se encontraban sometidos a alto vacío, para proteger el haz de electrones de los efectos de las moléculas del entorno que pudieran dispersarlos.



**Figura 3.** A) Componentes principales del microscopio electrónico de transmisión. B) Ejemplo de tinción negativa en partículas virales eicosahédricas.

Este dispositivo recibió el nombre de microscopio electrónico de transmisión. En un campo de aceleración de 200 kV, los electrones presentan longitudes de onda de 2 pm (0,02Å), mucho menores que el diámetro de 1,4Å del átomo de carbono. Teóricamente, esto debería haber producido imágenes de resolución atómica espectacular. Sin embargo, este límite teórico no se pudo alcanzar, y aunque la tecnología mejoró muy fácilmente los límites de la microscopía óptica, sólo pudieron obtenerse imágenes de estructuras subcelulares con aproximadamente 200Å de resolución. George Palade, Christian De Duve y Albert Claude, proporcionaron las primeras imágenes de microscopía electrónica de mitocondrias, lisosomas y células completas por lo que recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1974.

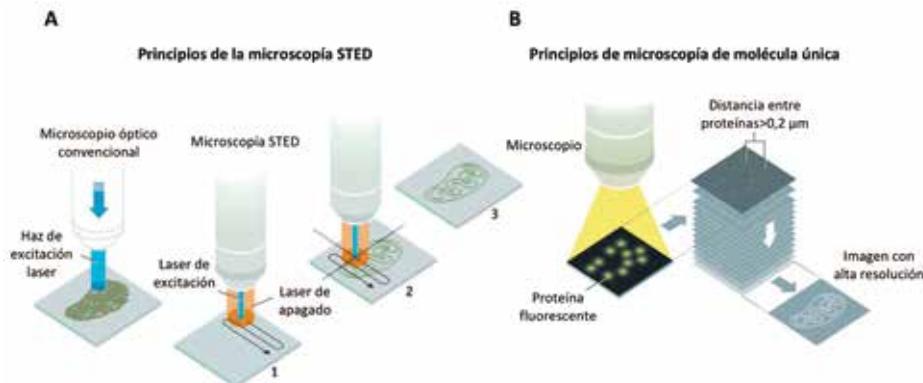
Las importantes pérdidas en poder de resolución de la microscopía electrónica de transmisión, se atribuyen principalmente a las imperfecciones en las lentes electrónicas (o condensadores de enfoque) y al resultado del daño infringido a la muestra por el haz de electrones, algo que obliga a utilizar haces de energía reducida, que producen imágenes de bajo contraste y elevado ruido. Además, se añade la necesidad de utilizar alto vacío en la observación y secciones ultrafinas de la muestra, lo que requiere la utilización de muestras deshidratadas y normalmente incluidas en materiales resinosos susceptibles de ser ultra-cortados, algo que podría modificar su morfología nativa. Para incrementar el contraste en las imágenes de microscopía electrónica, se desarrollaron los procedimientos de tinción negativa (figura 3B). Estos métodos, utilizan sales de metales pesados muy densos a los electrones, como el acetato de uranilo o sales de molibdeno o tungsteno, para recubrir la muestra e incrementar así su contraste. Dado que las imágenes reflejaban la distribución del metal pesado sobre el contorno de la muestra, el método recibió el nombre de tinción negativa, proporcionando las primeras imágenes de las siluetas de complejos macromoleculares, su tamaño, forma y simetría, incluyendo principalmente virus.

### ***Microscopía de fluorescencia con súper-resolución***

Aunque no alcanza el nivel atómico de resolución espacial que proporcionan los rayos X, la microscopía electrónica de transmisión o la RMN, los resultados espectaculares que ha proporcionado recientemente, y su enorme potencialidad futura en biología celular y estructural, hacen necesario describir aquí los progresos en microscopía óptica de súper-resolución. Brevemente, se entiende como microscopía de súper-resolución cualquier método de microscopía óptica que supere el límite de la difracción de Abbe en un factor de dos. Este avance espectacular se consiguió modulando espacial y temporalmente el haz de excitación fluorescente, o la desactivación selectiva de la fluorescencia emitida, minimizando la apertura del área de iluminación y aumentando así la resolución en el sistema investigado (figura 4). Stephan Hell, Eric Betzig y William Moerner recibieron el Premio Nobel de Química en 2014, por el conjunto de métodos de microscopía de super-resolución, que permiten visualizar conjuntos de moléculas (resolución 80-120 nm) o incluso moléculas individuales suficientemente grandes (resolución 10-25 nm).

Existen dos abordajes en microscopía de fluorescencia de súper-resolución (figuras 4A y 4B); las técnicas determinísticas (SIM-Structured Illumination Mi-

croscopy, STED-Stimulated Emission Depletion) y las estocásticas (PALM-Photoactivated Localization Microscopy, STORM-Stochastic Optical Reconstruction Microscopy), cada una con sus ventajas e inconvenientes.



**Figura 4.** A) Fundamentos de STED. La microscopía STED utiliza dos haces de láser, uno excita las moléculas fluorescentes, mientras que el otro cancela toda la fluorescencia excepto aquella que proviene de un punto de dimensiones nanométricas. La imagen se genera barriendo todo el espécimen nanómetro a nanómetro. B) En la microscopía de moléculas únicas, la fluorescencia de las moléculas marcadas se excita y apaga mientras se barre el área repetidas veces. El apilamiento de las imágenes obtenidas genera el resultado de súper-resolución.

Cada tecnología utiliza diferentes sondas fluorescentes, con una relación inversa entre la velocidad de adquisición de la imagen y su resolución. Una descripción detallada de los fundamentos de estas técnicas excede la perspectiva de este artículo pero resulta suficiente, para los fines del mismo, resaltar que han permitido mejorar considerablemente la resolución inicial de la microscopía óptica, hasta alcanzar los 10 Å actualmente, sin necesidad de cristalización y manteniendo el ambiente biológico original. Su combinación con microscopía confocal y con proteínas fluorescentes, ha permitido obtener con súper-resolución la distribución tridimensional de muchos procesos biológicos.

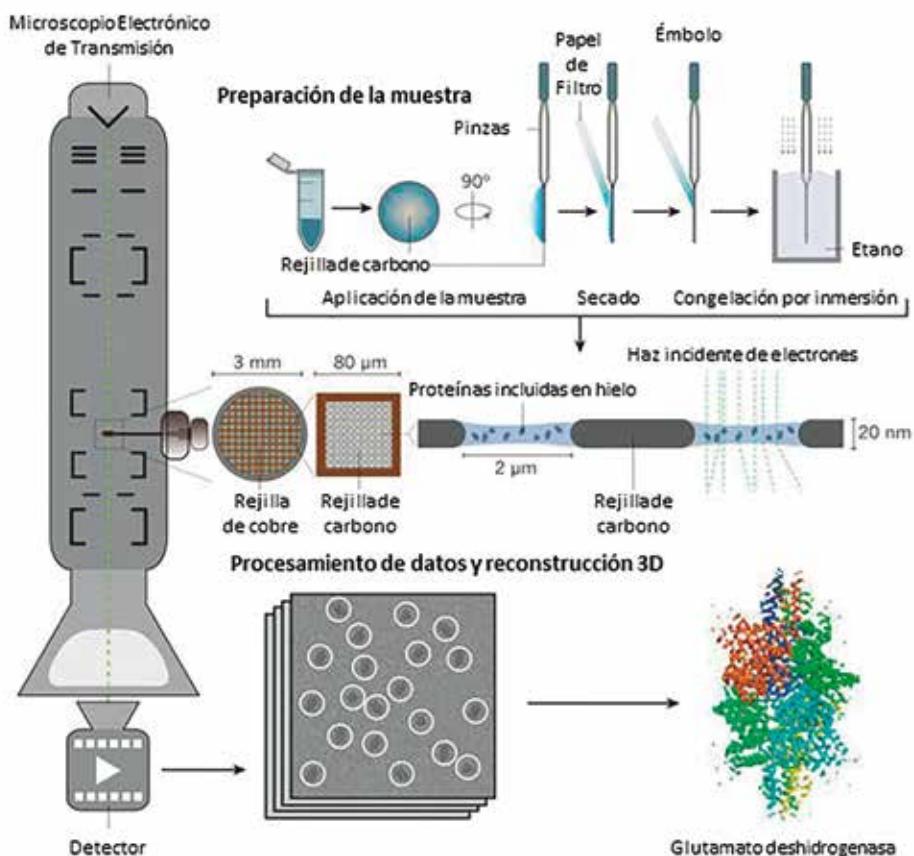
## ■ Microscopía crio-electrónica: la nueva herramienta de la biología estructural en el siglo XXI

Los materiales biológicos presentan varios retos importantes para la microscopía electrónica de transmisión descrita anteriormente. En primer lugar, el alto vacío necesario no resulta compatible con muestras hidratadas. En segundo lugar, las muestras biológicas están compuestas principalmente de elementos ligeros,

muy vulnerables al daño por impacto electrónico y en tercer lugar, los elementos ligeros interaccionan muy débilmente con los electrones, disminuyendo el contraste de las imágenes.

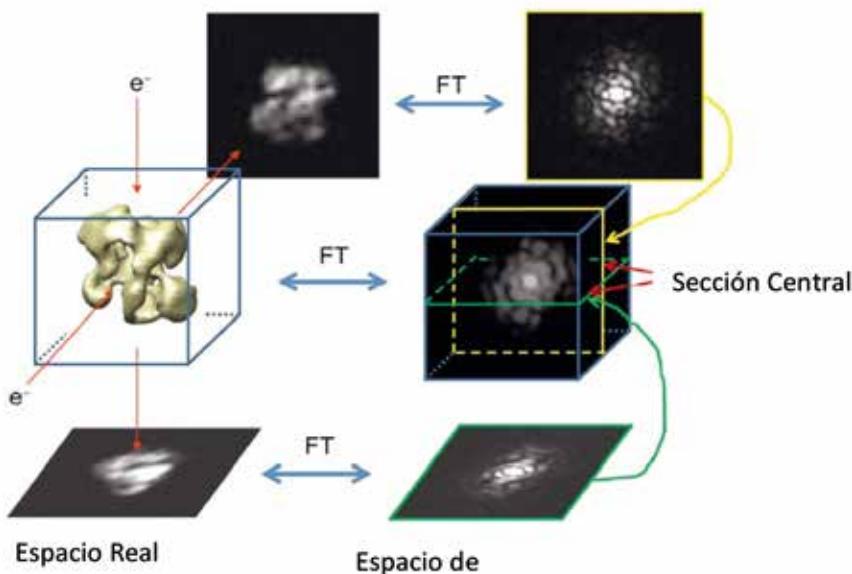
El trabajo de Dubochet, Frank y Henderson, con el desarrollo integral de la microscopía crio-electrónica, supera con extremada elegancia todas estas dificultades, abriendo una nueva frontera para el progreso en biología estructural. La figura 5 resume, esquemáticamente, sus abordajes. Brevemente, una suspensión acuosa de la muestra conteniendo aproximadamente  $10^5$  partículas, se coloca sobre una rejilla de carbono perforada con aberturas de 2  $\mu\text{m}$  de lado, de manera que la suspensión queda atrapada entre esta malla, por su tensión superficial, constituyendo diminutos puentes líquidos. Las rejillas se manejan con unas pinzas y se sumergen rápidamente en un baño de etano líquido, enfriado a la temperatura del nitrógeno líquido, lo que produce una rápida vitrificación del agua de la suspensión, atrapando así las macromoléculas suspendidas. La rejilla de carbono se superpone entonces sobre una rejilla tradicional de cobre, y el conjunto se coloca en el compartimento de la muestra para su observación mediante el haz de electrones. Seguidamente, se obtienen conjuntos de imágenes de microscopía electrónica que contienen las proyecciones individuales de enormes cantidades de partículas macromoleculares, cada una de ellas con una diferente orientación al azar. En otro abordaje complementario, se inclina o gira la muestra para obtener proyecciones 2D adicionales. El análisis de esta enorme cantidad de imágenes de las proyecciones 2D de la misma macromolécula, permite obtener mediante la aplicación de algoritmos avanzados de reconstrucción, una representación tridimensional de la macromolécula investigada.

Este procedimiento, aparentemente simple, no hubiera podido ser desarrollado sin una serie previa de desarrollos igualmente espectaculares. Brevemente, Robert G. Glaeser, descubrió, ya en 1974, que la congelación de muestras biológicas a la temperatura del nitrógeno líquido disminuía dramáticamente el daño causado por el bombardeo de electrones. En 1984, Jacques Dubochet, mejoró la técnica de congelación en nitrógeno líquido, utilizando etano licuado a la temperatura del nitrógeno líquido, y mostró imágenes espectaculares de partículas virales en hielo vitrificado. Este proceso de vitrificación resultó transcendental para los desarrollos posteriores.



**Figura 5.** Diagrama esquemático del flujo de trabajo en microscopía crioelectrónica.

Por otro lado, Aaron Klug había formulado, ya en 1964 (De Rosier y Klug, 1968), su teoría de la “sección central” proponiendo que podría reconstruir la representación tridimensional de un objeto, a partir del análisis de Fourier de sus proyecciones bidimensionales (figura 6). Basado en los algoritmos pioneros propuestos por Radon, para la reconstrucción tridimensional de imágenes astronómicas, Klug implementó en el laboratorio Cavendish de Cambridge, los primeros métodos que permitían reconstruir la estructura original de una macromolécula, a partir de una colección suficientemente grande de proyecciones 2D. Por ello, recibió el Premio Nobel de Química de 1983, proporcionando, junto con Glaeser, los principios que permitieron desarrollar la microscopía crioelectrónica posteriormente.



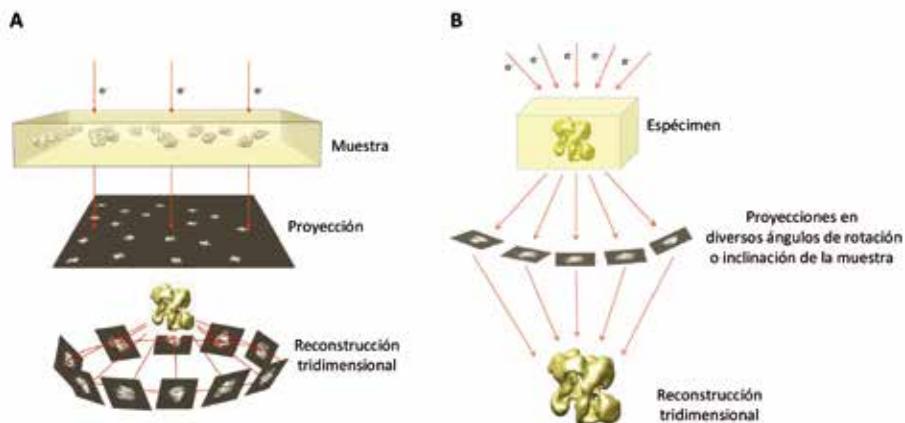
**Figura 6.** Teorema de la sección central. Klug y colaboradores propusieron obtener transformadas de Fourier las imágenes de transmisión electrónica en diversas direcciones, cuya transformación de Fourier inversa generaría la estructura 3D original.

Existen varios métodos de determinación estructural en microscopía crio-electrónica que utilizan diferentes tipos de reconstrucción 3D, dependiendo de la naturaleza y geometría de la muestra. Los más utilizados actualmente son: la cristalográfica de electrones, la reconstrucción de partícula única y la tomografía de electrones.

La cristalográfica de electrones permite determinar estructuras de macromoléculas biológicas (10-500 kD) altamente repetitivas y ordenadas en una, dos o tres dimensiones, con una resolución máxima de 1,9 Å. Tanto la cristalográfica de rayos X como la microscopía electrónica requieren muestras o cristales altamente repetitivos, pero mientras que la primera utiliza en la determinación estructural sólo los diagramas de difracción, la segunda puede utilizar tanto los diagramas de difracción como las imágenes de los cristales.

En la reconstrucción de partícula única (figura 7A), se obtiene un número muy grande de imágenes de la misma macromolécula orientada al azar en diferentes direcciones. Las imágenes se procesan, estadísticamente, para obtener incrementos en señal a ruido, y se alinean, clasifican y promedian, asumiendo que repre-

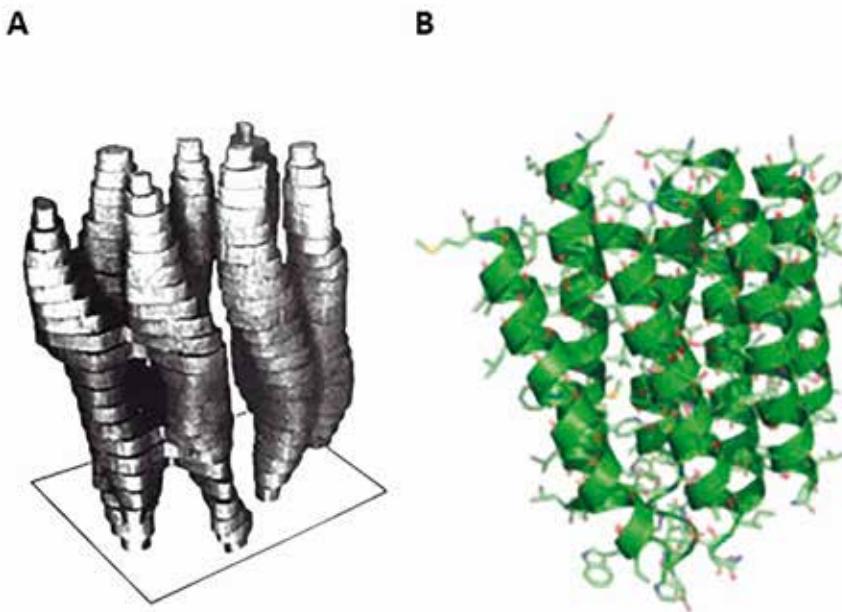
sentan diferentes proyecciones de la misma estructura 3D original. El algoritmo de reconstrucción permite obtener entonces la estructura 3D original a partir de sus proyecciones 2D. Este método ha sido utilizado con proteínas de 80kD a 50 MD, alcanzando resoluciones aproximadas de 3 Å.



**Figura 7.** Principios básicos de la reconstrucción de partícula única (A) y de la tomografía electrónica (B), utilizados en microscopía crioelectrónica.

La tomografía de electrones (figura 7B), obtiene imágenes de microscopía electrónica 2D, de una muestra que se gira o inclina en múltiples ángulos, generando así un número muy elevado de proyecciones de la misma muestra. Este método se ha utilizado para estructuras celulares, subcelulares y complejos macromoleculares (800 kD) alcanzando resoluciones máximas de 20 Å.

Una vez descritos los fundamentos generales de la microscopía crioelectrónica, describimos a continuación algunos de los avances que han alcanzado especial notoriedad. La figura 8 enmarca bien el formidable progreso de esta tecnología impulsado por Richard Henderson. El panel izquierdo muestra la estructura de la bacteriorodopsina, obtenida mediante microscopía crioelectrónica en 1975, utilizando entonces soluciones de glucosa para disminuir el daño del haz de electrones. Aunque espectacular en sí misma, la resolución estaba limitada aún por la tecnología de enfriamiento y por la limitada capacidad de computación reconstructiva de la época. Richard Henderson fue capaz de superar estas limitaciones mejorando, tanto el procedimiento de congelación como la eficacia del abordaje computacional. Su progreso se muestra en el panel derecho, con la representación 3D de la estructura de la misma macromolécula publicada en 1990.

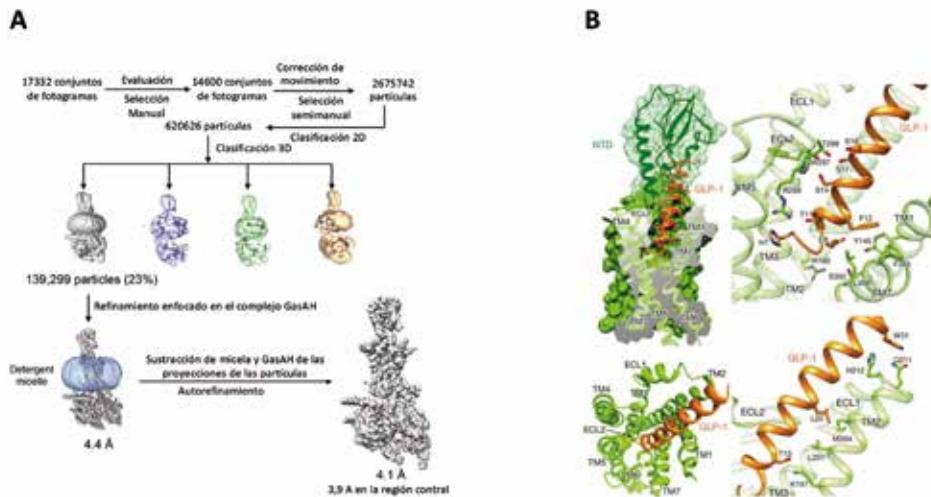


**Figura 8.** Estructuras de bacteriorodopsina resueltas mediante microscopía crio-electrónica por Henderson y sus colaboradores en 1975 con resolución de 7 Å (A), y en 1990 con resolución de 3,5 Å (B).

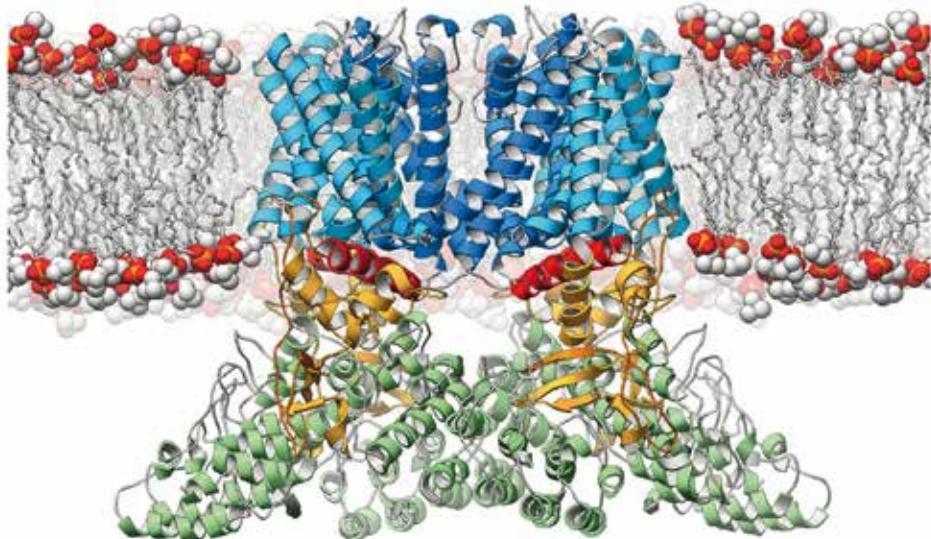
La figura 9A ilustra el procedimiento de microscopía crio-electrónica actual, con la reciente resolución de la estructura del receptor del Glucagon Like Peptidé I (GLP1), un receptor acoplado a proteína G, que transduce los efectos del glucagón, un péptido regulador de la homeostasis de glucosa. Brevemente, se obtuvieron 17.322 imágenes de microscopía crio-electrónica, de las que se seleccionaron manualmente 14.600 con un total de 2.675.742 partículas del receptor, reducidas a 620.626 partículas mediante clasificación 2D y posteriormente a 139.299 partículas mediante clasificación 3D. El refinamiento de la estructura, incluyendo una micela de detergente, proporcionó una resolución de 4.4 Å y la sustracción del detergente y un proceso de auto-refinamiento condujo a una resolución final de 4.1 Å (3.9 Å en su región central). La Figura 9B, muestra la estructura del receptor transmembranar y su acoplamiento a la proteína G, así como la región de acoplamiento de la  $\alpha$ -hélice del glucagón.

También se ha determinado recientemente con microscopía crio-electrónica, la estructura del canal iónico en los canales de potasio y del receptor transitorio sensible a voltaje vallinoide-2 TRPV2, con 4 Å de resolución (figura 10). La com-

plejidad de esta estructura, ilustra bien el enorme progreso obtenido. La apertura del poro se debe a la rotación del segmento repetitivo de ankyrina, mediante el dominio TRP, estando modulada por el segmento S6.

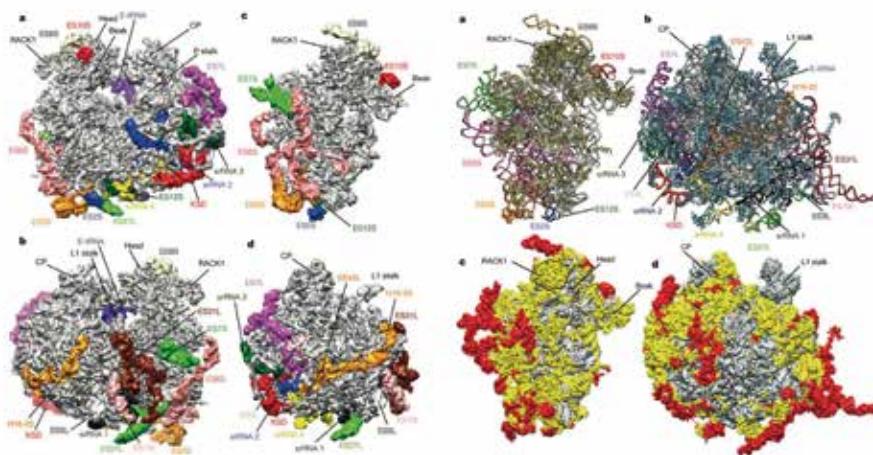


**Figura 9.** A) Abordaje de microscopía crio-electrónica para la determinación de la estructura del receptor del Glucagon Like Peptide I (GLP1), un receptor acoplado a proteína G. B) Activación del receptor GLP1 por unión de su ligando.



**Figura 10.** Estructura atómica del canal iónico del receptor transitorio sensible a voltaje vallinoidé-2 TRPV2.

Finalmente, la microscopía crio-electrónica no está limitada a la resolución estructural de proteínas de membrana. El trabajo de Joachim Frank y sus colaboradores ilustra bien este aspecto con la resolución atómica de la estructura tridimensional del ribosoma procariótico y eucariótico, en las cuatro fases de la síntesis de proteínas; iniciación, elongación, terminación y reciclaje. El modelo atómico propuesto para ribosoma eucariótico (figura 11) muestra cinco sitios de escisión del kinetoplástido de la subunidad ribosomal grande del RNA ribosómico, que se escinde así en seis piezas. Esto sugiere que la escisión del kinetoplástido juega un papel importante en el mantenimiento de la estructura ribosomal y muy posiblemente en el proceso de traducción de las proteínas.



**Figura 11.** Estructuras atómicas del ribosoma de *Trypanosoma Brucei* determinadas mediante microscopía crio-electrónica.

Todos estos avances no hubieran resultado posibles sin el progreso sostenido en la tecnología de microscopía crio-electrónica subyacente. Entre los más determinantes, figura la integración en los microscopios de los detectores directos de electrones. Estos detectores, inicialmente utilizados en astronomía, utilizan sensores digitales de pixeles basados en la tecnología de semiconductores complementarios de óxidos metálicos, conocida como CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors). Esta tecnología ha hecho posible la detección de electrones de alta energía, con escasa intensidad, mejorando sensiblemente los resultados obtenidos anteriormente con las emulsiones fotográficas clásicas. Una ventaja adicional es la velocidad de operación de estas cámaras, que permite

filmar películas y compensar los movimientos de las partículas ocasionados por el impacto del haz de electrones y por los cambios de temperatura. Finalmente, otras mejoras tecnológicas incluyen las fuentes de electrones estables a baja temperatura, la placa de fase de Volta que permite corregir problemas de corrección de fase y la automatización de los procesos de adquisición de datos.

## ■ Conclusiones y perspectivas futuras

En resumen, la microscopía crio-electrónica ha permitido obtener las estructuras tridimensionales de macromoléculas de elevadísimo peso molecular, sin necesidad de cristalizarlas y en un entorno acuoso muy similar al que prevalece *in vivo*.

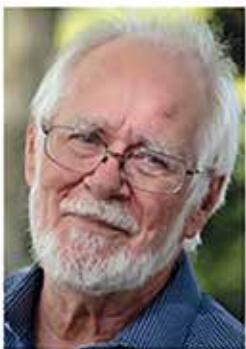
Los avances en este campo, constituyen el ejemplo más prominente del proceso general de superación de dificultades tecnológicas y rotura de barreras conceptuales que caracterizan el ingenio científico y el progreso humano. Seguro que Anton van Leeuwenhoek y Jean Basptiste de Lamarck, no hubieran podido intuir la proyección futura de sus propuestas, ni la eclosión posterior de la Biología Celular, Molecular y Estructural. Más aún, ni siquiera Roentgen, von Laue, los Bragg, Watson y Crick, Kendrew o Perutz, Glaeser o Klug y sobre todo los propios Jacques Dubochet, Joachim Frank y Richard Henderson hubieran podido predecir, en sus comienzos, el actual desarrollo de la microscopía crio-electrónica.

El trabajo de los tres galardonados con el Nobel de Química 2017, muestra un ejemplo sublime de perseverancia, solidez científica y envergadura intelectual, todas ellas necesarias para afrontar con éxito la interpretación integral de la Biología y la Medicina actuales en función de la estructura de las macromoléculas que constituyen los seres vivos.

Sin embargo, al menos un nuevo límite parece intuirse ahora en el horizonte: el funcionamiento fisiológico de estas estructuras a nivel atómico en células completas o en tejidos *in vivo*, sus interacciones estructurales y dinámicas con otros componentes celulares o tisulares, sus alteraciones en situaciones patológicas, o sus respuestas a los nuevos agentes terapéuticos diseñados con toda esta información. Este gran reto, aparentemente inalcanzable por ahora, podría sorprender a nuestra comunidad científica, de nuevo, en un futuro no muy lejano.

## ■ Biografías abreviadas y contribuciones más relevantes

### **Jacques Dubochet**



Nacido en Aigle (Suiza) en 1942, desde 1962 estudió Física en la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, graduándose en ingeniería física en 1967. Obtuvo el doctorado en Biofísica, en 1973, por las Universidades de Ginebra y Basilea. Entre 1978 y 1987 fue jefe de grupo en el Laboratorio Europeo de Biología Molecular de Heidelberg en Alemania. Desde entonces, ha sido Profesor de Biofísica en la Universidad de Lausanne, hasta su jubilación en 2007, manteniendo actualmente su colaboración con esta Universidad como Profesor Honorario.

Entre sus contribuciones más importantes destaca el desarrollo del sistema de vitrificación de las muestras por congelación rápida en etano líquido, un aspecto fundamental en la microscopía crio-electrónica actual.

### **Joachim Frank**

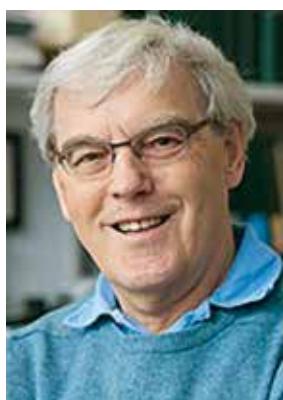


Nacido en 1940, en Weidenau/Sieg, Alemania. Se graduó en Física en la Universidad de Friburgo en 1963, diplomándose en la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich en 1967, y doctorándose, en 1970, en la Universidad Técnica de Múnich, Alemania. Después realizó diversas estancias postdoctorales en los Estados Unidos, incluyendo el Instituto Tecnológico de California, y las Universidades de California, en Berkeley, y de Cornell en Ithaca, Nueva York. Posteriormente, trabajó en el Max Plank Institut de Martinsried y en el Laboratorio Cavendish de Cambridge. Actualmente es Profesor de Bioquímica, Biofísica Molecular y Ciencias Biológicas, Universidad de Columbia, Nueva York.

Entre sus contribuciones más destacadas figuran: el desarrollo de algoritmos de reconstrucción de la estructura tridimensional de macromolécula única, a partir de sus proyecciones bidimensionales en microscopía crio-electrónica, y la

elucidación con alta resolución de la estructura tridimensional y dinámica de los ribosomas bacterianos y eucarióticos.

### **Richard Henderson**



Nacido en Edimburgo (1945), Escocia, se educó con honores de primera clase en el Boroughmuir High School y en la Universidad de Edimburgo, recibiendo su doctorado por la Universidad de Cambridge, en 1969. Después trabajó como postdoctoral en la Universidad de Yale. Desde 1973, trabajó como Jefe de grupo en el Laboratorio de Biología Molecular del Medical Research Council en Cambridge, del que llegó a ser Director entre 1996 y 2006. En 1993 fue profesor visitante en el Miller Institute de la Universidad de California en Berkeley. Actualmente es tutor del programa de formación de la Academia de Ciencias Médicas del Reino Unido.

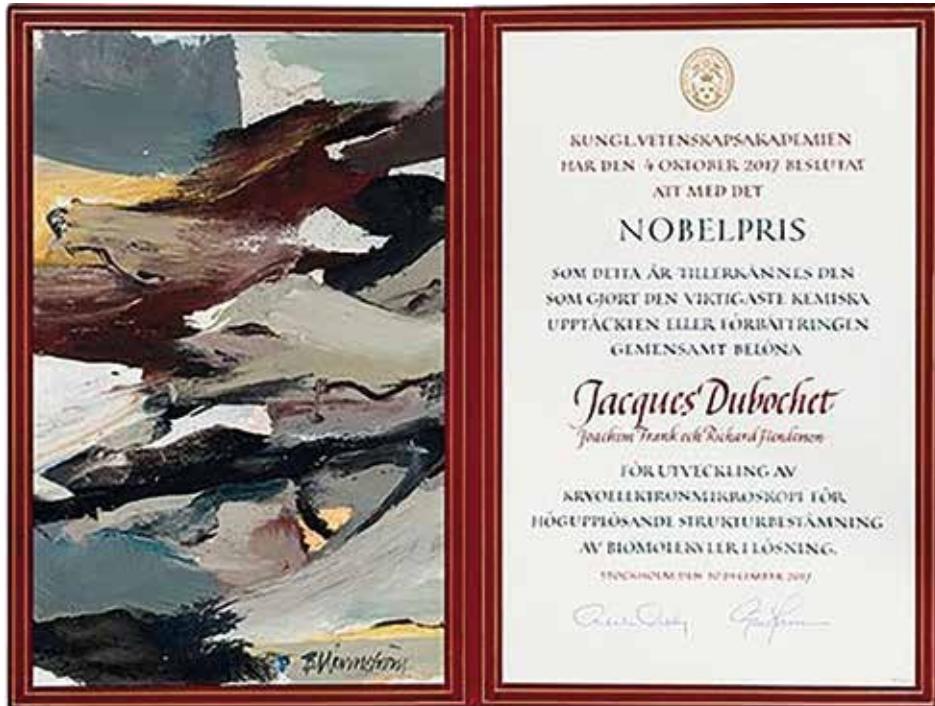
Entre sus numerosas contribuciones destaca su trabajo seminal en la resolución de la estructura tridimensional de la bacteriorodopsina empleando microscopía electrónica. Su trabajo inicial, publicado en *Nature* en colaboración con Nigel Unwin, demostró que la estructura tridimensional de proteínas de membrana podía ser resuelta mediante microscopía electrónica. Brevemente, su contribución mostró que la bacteriorodopsina tenía una estructura muy bien definida, compuesta de siete hélices alfa transmembranares, demostrando por primera vez que la estructura en alfa hélice era compatible con la inserción transmembranar. Su trabajo con la bacteriorodopsina continuó después, sin Nigel Unwin, publicando en 1990 su famoso modelo de la bacteriorodopsina con resolución atómica. Posteriormente, en colaboración con Chris Tate, ayudó a desarrollar el método de estabilización conformacional térmica, un método que permitía la estabilización de cualquier proteína, manteniendo la conformación de interés. Este método resultó crucial en la cristalización y resolución estructural de los receptores de membrana acoplados a proteínas G. Finalmente, Henderson ha contribuido sustancialmente al desarrollo de la microscopía electrónica de partícula única, desarrollando su idea seminal de que esta tecnología podría contribuir, rutinariamente, estructuras atómicas sin necesidad de cristalización previa.

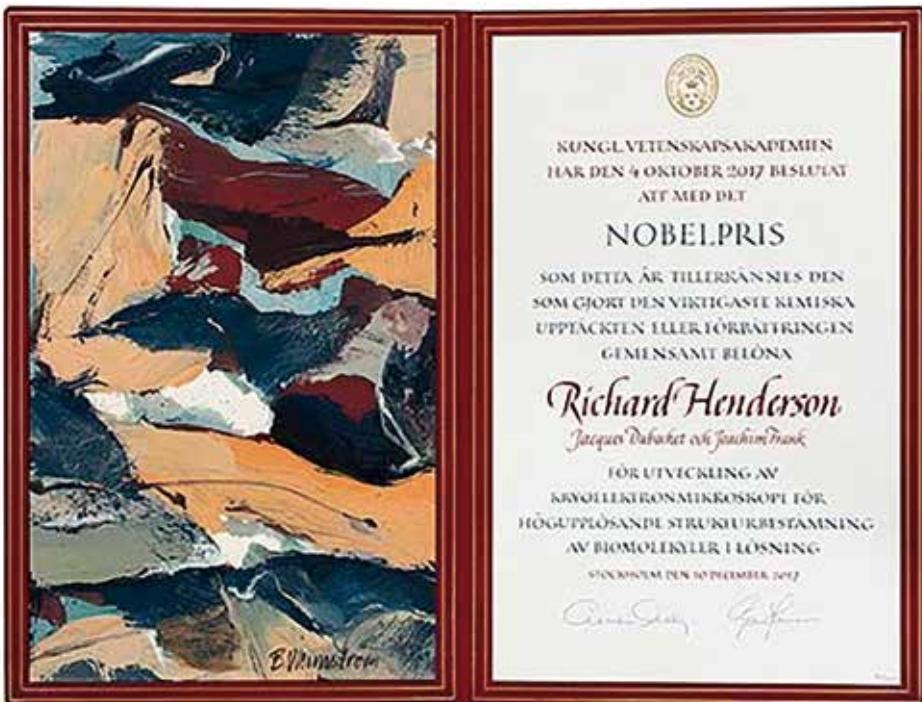
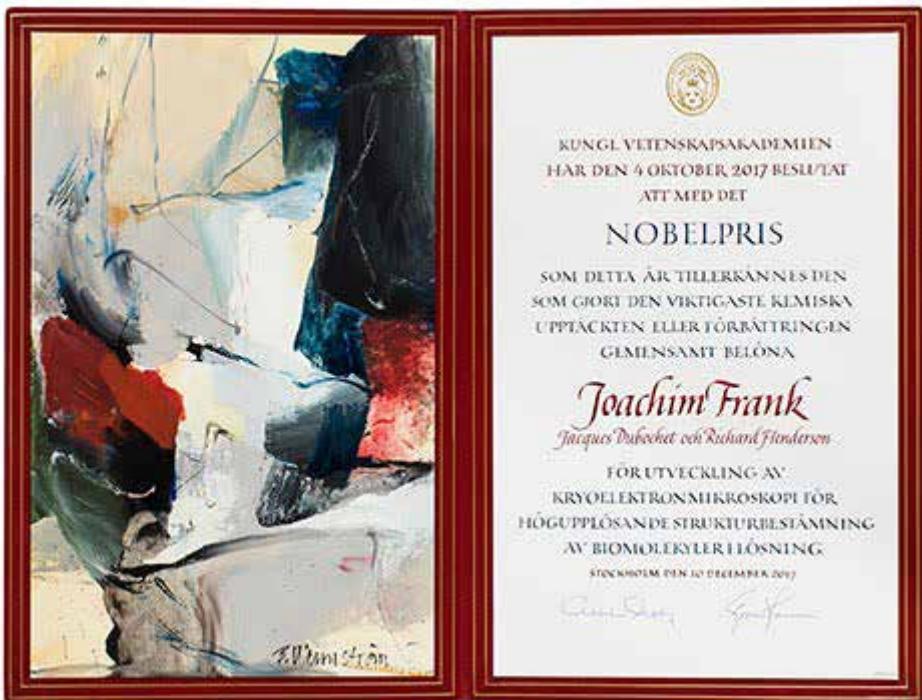
## ■ Bibliografía

- (1) Adrian, M., Dubochet, J., Lepault, J. and McDowall, A.W. (1984). Cryo-electron microscopy of viruses. *Nature* *308*, 32-36.
- (2) Baddeley, D. and Bewersdorf, J. (2017). Biological Insight from Super-Resolution Microscopy: What We Can Learn from Localization-Based Images. *Annu Rev Biochem.*
- (3) Bavro, V.N., De Zorzi, R., Schmidt, M.R., Muniz, J.R., Zubcevic, L., Sansom, M.S., Venien-Bryan, C. and Tucker, S.J. (2012). Structure of a KirBac potassium channel with an open bundle crossing indicates a mechanism of channel gating. *Nat Struct Mol Biol* *19*, 158-163.
- (4) Campbell, I.D. (2002). Timeline: the march of structural biology. *Nat Rev Mol Cell Biol* *3*, 377-381.
- (5) Curry, S. (2015). Structural Biology: A Century-long Journey into an Unseen World. *Interdisciplinary Science Reviews* *40*, 308-328.
- (6) De Rosier, D.J. and Klug, A. (1968). Reconstruction of three dimensional structures from electron micrographs. *Nature* *217*, 130-134.
- (7) Fenselau, C. (1991). Beyond gene sequencing: analysis of protein structure with mass spectrometry. *Annu Rev Biophys Biophys Chem* *20*, 205-220.
- (8) Fernandez-Leiro, R. and Scheres, S.H. (2016). Unravelling biological macromolecules with cryo-electron microscopy. *Nature* *537*, 339-346.
- (9) Friedman, W.E. (2009). Evolution pioneers: celebrating Lamarck at 200, Darwin 215. *Nature* *461*, 167.
- (10) Galbraith, C.G. and Galbraith, J.A. (2011). Super-resolution microscopy at a glance. *J Cell Sci* *124*, 1607-1611.
- (11) Goldsmith, C.S. and Miller, S.E. (2009). Modern uses of electron microscopy for detection of viruses. *Clin Microbiol Rev* *22*, 552-563.
- (12) Hashem, Y., des Georges, A., Fu, J., Buss, S.N., Jossinet, F., Jobe, A., Zhang, Q., Liao, H.Y., Grassucci, R.A., Bajaj, C., *et al.* (2013). High-resolution cryo-

- electron microscopy structure of the *Trypanosoma brucei* ribosome. *Nature* **494**, 385-389.
- (13) Hauptman, H.A. (1990). History of X-ray Cristalography. *Structural Chemistry* **1**, 617-620.
- (14) Henderson, R., Baldwin, J.M., Ceska, T.A., Zemlin, F., Beckmann, E. and Downing, K.H. (1990). Model for the structure of bacteriorhodopsin based on high-resolution electron cryo-microscopy. *J Mol Biol* **213**, 899-929.
- (15) Henderson, R. and Unwin, P.N. (1975). Three-dimensional model of purple membrane obtained by electron microscopy. *Nature* **257**, 28-32.
- (16) Ho, P.S. and Carter, M. (2011). DNA Structure: Alphabet Soup for the Cellular Soul In *DNA Replication-Current Advances*, H. Seligmann, ed. (InTech Open).
- (17) Leung, B.O. and Chou, K.C. (2011). Review of super-resolution fluorescence microscopy for biology. *Appl Spectrosc* **65**, 967-980.
- (18) Markwick, P.R.L., Malliavin, T. and Nilges, M. (2008). Structural Biology by NMR: Structure, Dynamics, and Interactions. *PLoS Computational Biology* **4**, e1000168.
- (19) Mitra, K. and Frank, J. (2006). Ribosome dynamics: insights from atomic structure modeling into cryo-electron microscopy maps. *Annu Rev Biophys Biomol Struct* **35**, 299-317.
- (20) Mitra, K., Schaffitzel, C., Shaikh, T., Tama, F., Jenni, S., Brooks, C.L., 3rd, Ban, N. and Frank, J. (2005). Structure of the *E. coli* protein-conducting channel bound to a translating ribosome. *Nature* **438**, 318-324.
- (21) Odova, E.V. and Saibil, H.R. (2011). Structural Analysis of Macromolecular Assemblies by Electron Microscopy. *Chemical Reviews* **111**, , 7710-7748.
- (22) Walsh, K.A., Ericsson, L.H., Parmelee, D.C. and Titani, K. (1981). Advances in protein sequencing. *Annu Rev Biochem* **50**, 261-284.
- (23) Wang, H.W. (2015). Cryo-electron microscopy for structural biology: current status and future perspectives. *Scince China Life Sciences* **58**, 750-756.

- (24) Wlodawer, A. (1982). Neutron diffraction of crystalline proteins. *Prog Biophys Mol Biol* 40, 115-159.
- (25) Zhang, Y., Sun, B., Feng, D., Hu, H., Chu, M., Qu, Q., Tarrasch, J.T., Li, S., Sun Kobilka, T., Kobilka, B.K., *et al.* (2017). Cryo-EM structure of the activated GLP-1 receptor in complex with a G protein. *Nature* 546, 248-253.
- (26) Zubcevic, L., Herzik, M.A., Jr., Chung, B.C., Liu, Z., Lander, G.C. and Lee, S.Y. (2016). Cryo-electron microscopy structure of the TRPV2 ion channel. *Nat Struct Mol Biol* 23, 180-186.





## Premio Nobel de Literatura 2017

**LA ACADEMIA SUECA HA CONCEDIDO  
EL PREMIO NOBEL DE LITERATURA 2017  
A KAZUO ISHIGURU “QUIEN, EN NOVELAS DE  
GRAN FUERZA EMOCIONAL, HA PUESTO DE MA-  
NIFIESTO EL ABISMO BAJO NUESTRO SENTIDO  
ILUSORIO DE CONEXIÓN  
CON EL MUNDO”**



En el anverso de la medalla se muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y muerte OB MDCCXCVI. El reverso de la medalla del Premio Nobel de Literatura otorgado por la Academia Sueca representa a un hombre joven sentado bajo un árbol de laurel, quien escucha encantado y escribe el canto de una musa. La inscripción dice: *Inventas vitam juvat excoluisse per arte*, las palabras han sido tomadas de la obra de Virgilio del siglo I AC, Eneida. El nombre del Laureado se graba debajo de la imagen, y además aparece un texto que dice “ACAD. SUEC.” por Academia Sueca. Diseñada por Erik Lindberg.

Dámaso López García

## ■ Sobre el autor y sobre su biografía literaria

### Kazuo Ishiguro



El premio Nobel de literatura del año 2017 se le otorgó a Kazuo Ishiguro, nacido en Nagasaki, Japón (1954). Cuando el niño contaba cinco años, en 1960, la familia se trasladó a Inglaterra, a Guildford, Surrey, donde pensaba quedarse una breve temporada. No volvieron a Japón. Kazuo Ishiguro creció en Inglaterra, se educó en Inglaterra, en la Stoughton Primary School, después estudió en Woking County Grammar School, Surrey. Posteriormente cursó estudios universitarios de literatura inglesa y de filosofía en la Universidad de Kent y, finalmente, en 1980, se matriculó en un máster de creación literaria en la Universidad de East Anglia. Estos escasos datos biográficos muestran la vida sin incidentes de un muchacho de clase media, que siente desde muy joven la pasión por la creación artística. Sus estudios concluyen en 1980, en 1982 publica su primera novela. Tal parecería como si su vida hubiera estado destinada a hacer lo que comenzó a hacer nada más dar por terminado su ciclo educativo.

El escritor evita, en la medida de lo posible, pero con notable éxito, toda información sobre su vida y sobre la de sus familiares más directos. Se sabe de él que se casó en 1986 con Lorna MacDougall, se sabe que tienen una hija. La escasez de información sobre la vida de Kazuo Ishiguro indica con claridad que el autor piensa que todo lo que debe saberse de él está en sus libros, que son, después de todo, los que lo han hecho merecedor del Premio Nobel.

La crítica, es decir, los críticos, en términos generales, prefiere y prefieren evitar pronunciarse sobre la obra de autores vivos. El tiempo aún no ha hecho su trabajo, y pueden todos, la crítica y los críticos, sea para admirar, sea para disentir, incurrir en errores de perspectiva. Esta la modifica la escasez o la abundancia de la información. Y sobre la obra de los autores vivos, por copiosa que sea, nunca es suficiente la información: aún no se han comparado juicios de forma apreciable ni se ha tenido en cuenta toda la variedad de las experiencias de los lectores ni los matices que introduce el tiempo ni los sedimentos que este deja ni los cambiantes contextos; tampoco se ha reconocido en su extensión adecuada la influencia

o la falta de influencia de la obra del autor del que se trate. No se conoce bien su capacidad para atraer la atención de los lectores.

La crítica es, en términos generales, cautelosa; también es, en buena medida, un arte jurisprudencial, que tiene siempre en cuenta las opiniones previas, aunque, en su caso, sea para contradecirlas. Siendo así las cosas, como en los buenos comercios, una modesta ‘exoneración de responsabilidad’, *disclaimer*, siempre es necesaria para la crítica. Por otra parte, en el polo opuesto, los autores a los que la historia y el ejercicio de la crítica ya han canonizado despiertan entre los críticos ideas contradictorias, porque, dejando a un lado las posibilidades de acertar o de equivocarse, esos autores están con frecuencia demasiado lejos, y esta lejanía acaso diluya la relación del escritor con el tiempo histórico en el que este vivió y con el momento en el que se escriba críticamente sobre él. Sin embargo, es esta una relación sometida a los principios de equivalencia y oportunidad, porque es el presente el que empuja hacia el pasado a los críticos. No es frecuente que ambas cosas ocurran simultáneamente: que un autor sea canónico en vida y que, precisamente, por estar vivo, aún no haya toda la información deseable sobre él.

Que un escritor reciba el reconocimiento del premio Nobel, Kazuo Ishiguro, por ejemplo, coloca al crítico en una situación paradójica: el autor está vivo y es demasiado cercano, pero, a la vez, la brusca canonización lo eleva hasta una altura habitualmente reservada a escritores respecto de los cuales el tiempo ya ha hecho su trabajo. Solo justifica y explica la incomodidad complementaria del crítico la urgencia de la demanda de información. La urgencia disculpa asimismo algunas dificultades; por ejemplo, debe disculpar las que se manifiesten en forma de insuficiencias que provengan de una distancia que es simultáneamente breve y desmesurada.

## ■ **La obra**

Kazuo Ishiguro, no es un autor prolífico. Su obra visible, como la de Pierre Menard, es de «fácil y breve enumeración». Atribuidas a su nombre han aparecido siete novelas y un libro de relatos. En sus términos estrictamente materiales, una obra de estas dimensiones es abarcable. En este pequeño estuche bibliográfico ha sabido hallar el jurado de la Academia Sueca todo el talento y virtudes literarias que se han reconocido con el Premio Nobel. Las novelas por las que

el autor es conocido se han publicado en un periodo de tiempo que abarca de 1982 a 2015. A lo largo de treinta y tres años, el autor ha ido entregando a la imprenta de forma espaciada, sosegada, las novelas que figuran en su registro bibliográfico.

También ha escrito Kazuo Ishiguro guiones (para el cine o la televisión), poesía y, como ya se ha dicho, un libro de relatos breves, pero su fama descansa, de forma eminente, casi exclusiva, en sus siete novelas. El autor es conocido, sobre todo, como narrador, como novelista. Y en cada novela ha invertido un tiempo nada desdeñable: casi cinco años de media le ha llevado escribir cada una de sus obras. Este hecho indica una actitud ante la creación.

Pueden hacerse comparaciones con facilidad. Por ejemplo, en treinta y cuatro años, Charles Dickens, por buscar una referencia británica universal, escribió quince novelas; dedicó, en términos generales, poco más de dos años a cada novela. Honoré de Balzac, por buscar una referencia universal fuera de Gran Bretaña, redactó en veintiún años las casi noventa piezas (novelas, novelas breves, relatos y ensayos) de *La comedia humana*. Algo más de cuatro obras por año. Pero en el siglo XIX se debía de creer que la producción literaria y la producción industrial debían correr parejas. La cantidad era un valor. Mientras que el siglo XX es ejemplo, piénsese en Franz Kafka o Elias Canetti o James Joyce o Salinger, en términos generales, de contención y brevedad; no obstante, téngase en cuenta que también en este siglo hay abundantes contraejemplos. El intervalo que separa novela y novela en la obra de Kazuo Ishiguro, distribuidas entre dos siglos muy diferentes entre sí, apunta en la dirección de la reflexión, la paciencia, el cuidado en la elección de los asuntos, el perfeccionismo, el amor por el detalle y la construcción rigurosa. Kazuo Ishiguro escribe sin prisa, y esa escritura lenta casa muy bien con el tempo de cada una de sus obras, un tempo que discurre con morosa lentitud en relatos que también avanzan sin prisa.

El mundo de Kazuo Ishiguro exhibe algunos o muchos de esos rasgos que han hecho de la narrativa del siglo XX y de la que inaugura el siglo XXI, un terreno propicio para explorar aquello que las luces de las estrellas y los soles nocturnos no permiten ver en el firmamento de la noche: la oscuridad que envuelve a los seres humanos en su soledad, en sus dificultades, en su indefensión, en su inseguridad o en su miedo. Esto apenas describe el envoltorio moral en cuyo interior se custodian las inquietudes del escritor. Los relatos concretos en los que se encarnan estas preocupaciones, su materialización formal, son sorprendentes: abor-

dan mundos sociales crepusculares, naturalizan lo remoto y aun lo poco común y vuelven remoto y extraño lo más próximo y común.

## ■ **Algunos ejemplos**

Tampoco lo anterior describe bien cómo son las novelas del autor británico. Quizá haya que descender a un nivel más próximo a la experiencia de la lectura para conocerlas. Algunas breves descripciones tal vez ayuden a entender en qué modo la opacidad del mundo toma cuerpo en los relatos de Kazuo Ishiguro. Por ejemplo, en *Los restos del día* (1989), el mayordomo que ha desempeñado su trabajo en una antigua casa inglesa, Darlington Hall, la casa de un noble, toma el automóvil que le presta su nuevo jefe, un americano que ha adquirido la mansión del noble británico, y se dirige al oeste del país, para reunirse con un ama de llaves que tiempo atrás trabajó junto con él en la misma mansión. El mayordomo decide hacer este viaje porque pretende persuadir a esta ama de llaves para que vuelva a su anterior trabajo. En el curso de la narración, que se desenvuelve a lo largo del viaje que, por fin, emprende el mayordomo, se le hace saber al lector que el noble británico tuvo sus inclinaciones filonazis en tiempos anteriores a la Segunda Guerra Mundial, y que ese mismo noble se arrepintió después de la Guerra de sus inclinaciones. Cuando la novela termina, el ama de llaves, que pronto será abuela, decide no regresar al puesto que tuvo antaño en Darlington Hall. Una historia, como historia, como relato o argumento, no excesivamente atractiva, casi desde cualquier punto de vista que se la considere.

Otro ejemplo. En *Los inconsolables* (1995), se describe la visita de un pianista inglés a una ciudad centroeuropea cuyo nombre no llega a saberse. La novela abarca lo que ocurre al personaje, Ryder, a lo largo de tres días. Pero no ocurre nada que no sea previsible que le ocurra a un pianista que llega a una ciudad en la que tendrá que dar un concierto y una conferencia, es decir, que se le acumulen los compromisos, que se solapen, que le impidan hacer aquello que ha ido a hacer; el relato se convierte en la crónica de lo que hace un pianista que atiende a algunos compromisos y que se relaciona con personas de la ciudad que visita y con personas a las que anteriormente había conocido. Finalmente, el recital se suprime, pero se suprime después de que lo ocurrido durante estos tres días se haya descrito, en un libro que, en la edición española, supera el medio millar de páginas. Y el contenido de la novela no es otra cosa que una subrogación permanente de situaciones que a veces no guardan una relación evidente con lo precedente y

lo siguiente. La lógica del relato parece dictada por el tipo de relaciones que guían los pasos de Alicia en *Alicia en el país de las maravillas*. Los hechos parece que flotaran en la indeterminación, ajena al principio de realidad, propia de un sueño o de una pesadilla.

Otro ejemplo. La novela *Nunca me abandones* (2005), aborda un asunto más complejo, pero la complejidad del asunto no se siente nada más que como inquietud desasosegante al principio y solo al final de la narración es evidente toda su trágica fuerza. La obra puede clasificarse adecuadamente dentro de la literatura distópica. Un grupo de muchachos, que pasan su infancia y juventud en un internado, descubre, poco a poco, siguiendo espaciadas pero inequívocas revelaciones, que son seres vivos creados mediante algún proceso de clonación y que su función en el mundo es la de servir de reserva de órganos para trasplantar a los seres humanos no clonados. Se ha relacionado esta obra con *Un mundo feliz* (1932), con *1984* (1949), con la película *Soylent Green* (1973) o con *Blade Runner* (1982). Quizá podría añadirse el capítulo de *Crónicas marcianas* (1948), en el que los humanos llegan a Marte y se encuentran con réplicas exactas de sus seres queridos. El punto de vista, en la obra de Ishiguro, es el de los replicantes, el de las personas clonadas, y su vida emocional es el asunto de interés de la obra. La alteridad, pero, también, la separación entre lo humano y lo no humano son sus mayores centros de interés. Que esta novela, en un terreno en el que hay obras como las señaladas, destaque por su fuerza trágica es un mérito que no le pasará inadvertido al lector.

Un último ejemplo. En *El gigante enterrado* (2015), la más reciente novela publicada por el autor, se describe un viaje de un matrimonio anciano en la Inglaterra altomedieval, una Inglaterra separada entonces entre britones y sajones. El matrimonio desea reunirse con su hijo, al que no ven desde hace tiempo. Entre los personajes, aparecen *Sir Gawain*, quien conoció al rey Arturo y a Merlín, y se ven ogros y duendes en la novela, y están Querig, el dragón hembra, y su hijo, que recuerdan a la madre de Grendel y a Grendel, los personajes del poema *Beowulf*. Y hay abundancia de incidentes que se despliegan en una suerte de *road movie*, 'película de carretera', a lo largo del trayecto de los personajes que viajan para alcanzar un destino que les permitirá conocer, conocerse y recordar, aunque no logren reunirse con su hijo, quien, después de todo, ya había muerto.

Es obvio que en los argumentos y en la descripción formal, pero general, de las obras anteriores no pueden señalarse rasgos propios que permitan identificar

un área de interés común a todas ellas, un centro de gravedad de lo que constituye su atractivo. Al contrario, es sorprendente la variedad de escenarios, tramas y preocupaciones temáticas que se representan en estas obras. El pasado: *Los restos del día*, *El gigante enterrado*; el presente: *Los inconsolables*; o el futuro: *Nunca me abandones*, todos ellos son analizados como forma de preocupación en cada una de estas obras, pero puede decirse que tanto el pasado como el futuro se convocan en ellas para hacer más perceptible la preocupación por el presente, por la forma en la que los seres humanos conducen sus asuntos públicos y sus necesidades personales en el tiempo presente, un presente que, no es necesario decirlo, condiciona y anuncia el futuro. Decir que la preocupación por el tiempo es uno de los asuntos de interés para el escritor es, sin duda, señalar lo evidente.

El autor británico no ofrece una obra homogénea que se brinde al lector de la literatura de género, por ejemplo, de la novela distópica, de la sátira social o de la comedia de costumbres, de la literatura introspectiva o meditativa... no, el lector de Ishiguro debe estar dispuesto a prescindir de sus gustos relativos a los géneros literarios, y debe centrar su atención en que hay preocupaciones como la memoria y su deterioro, la historia, las transacciones entre el individuo y la sociedad, la gestión del poder, la violencia, las microviolencias cotidianas, la crueldad que pueden aparecer en diferentes épocas, en diferentes medios, en tramas que no están ancladas en géneros particulares. Para hallar el interés y atractivo de la obra de Ishiguro hay que buscar en una dirección diferente.

No solo el qué es importante para conocer las asuntos que atraen la atención del novelista, no es menos importante el cómo, la forma en que las historias llegan a los lectores. Y sobre esto puede decirse que Ishiguro es un autor que exhibe unas características formales que se alzan por encima de los asuntos sobre los que escribe. Es un autor, pues, que elude las clasificaciones fáciles, que oculta o disimula sus intereses en contextos de muy diferente índole. El cómo sí es relevante. Los personajes de Ishiguro muestran una tendencia a tener una insuficiente o, peor aún, mala comprensión del mundo. Alcanzan a lo largo de cada obra momentos de comprensión que no redimen el conjunto, pero que permiten entender de forma parcial algo de lo que les ocurre y de lo que ocurre a su alrededor. Para alcanzar ese conocimiento, los protagonistas se embarcan en cuidadosas reflexiones, en matizadas cribas de sus recuerdos, en exámenes demorados de su entorno, en regresos a lo ya dicho. Pero son reflexiones continuadas, monólogos interrumpidos o puntados por diálogos que apenas interrumpen el curso de las

reflexiones de las personas de que se trate. El desvelamiento progresivo y acaso incompleto convierte al lector en correlato de los personajes. Los narradores escriben desde la insuficiencia del conocimiento, como si no supieran todo o como si no pudieran saber todo, por limitaciones propias, incapacidad de relacionar los hechos, o porque los contextos dificultan o hacen imposible el conocimiento. La relación del lector con los personajes es característica de las obras de Ishiguro: el lector puede ir relacionando sus insuficiencias con las del narrador y con las del resto de personajes. Quizá porque, cuando lleguen las revelaciones y las conclusiones, acaso se muestre entonces que estas no son definitivas. Al lector no se le pide tanto una interpretación cuanto la compañía en el curso de la exposición de las perplejidades de los personajes.

## ■ Primeras obras

Las dos primeras novelas de Kazuo Ishiguro, *Pálida luz de las colinas* (1982) y *Un artista del mundo flotante* (1986), atrajeron la atención de la crítica por diversos motivos. Ambas están relacionadas con el origen del escritor, con Japón. En la novela *Pálida luz de las colinas*, Etsuko, una mujer japonesa que vive en Inglaterra, recuerda su juventud y recuerda su vida en Japón, con su anterior marido, con quien tuvo una hija, Keiko. Después conoce a un inglés con quien se va a vivir a Inglaterra y con quien tiene una hija, Niki. Keiko no se adapta bien a la vida en Inglaterra, se retrae, se recluye en su habitación y, finalmente, se suicida. A lo largo de una conversación, Etsuko cuenta a Niki, que, cuando ella, Netsuko, vivía en Japón, una de sus amigas tenía, a su vez, una hija que también tenía hábitos de reclusión. La madre de esta muchacha planeaba irse a América con un soldado americano. En el relato de Etsuko se aprecia que hay elementos convergentes entre la historia propia y la de su amiga. No solo son importantes los elementos que señalan coincidencias o similitudes en las historias personales, pues hay además contextos históricos, sociales y políticos que no pueden olvidarse fácilmente.

*Ciertamente, el centro de interés de la primera novela de Ishiguro tiene como asunto principal la psicología individual –concretamente, la forma en la que las personas utilizan los relatos de terceras personas para ocultar y, paradójicamente, revelar los relatos propios– más que la historia nacional y el papel que los individuos desempeñan en los asuntos públicos* (Shaffer, 1998: 36-37).

La psicología individual y los asuntos públicos se mezclan y se condicionan recíprocamente en el relato. Esta descripción vale para esta novela y para el resto de la obra del autor, pero, especialmente, tiene un sentido muy preciso de adecuación a *Los restos del día. Un artista del mundo flotante*, la siguiente narración del escritor, tiene como protagonista a un joven, Masuji Ono, un artista, un pintor, que participa de las ideas de extrema derecha que condujeron a Japón a la Segunda Guerra Mundial. El resultado de la Guerra afecta a las creencias del artista, quien, ya anciano, intentará mediante su relato entender su propia vida. «En este sentido *El artista del mundo flotante* se ocupa de la ‘perspectiva provinciana’; el relato insiste en la pequeñez del narrador, quien lucha por parecer más importante que los demás» (Shaffer, 1998: 61). Quizá en estas dos novelas están ya presentes todas o casi todas las preocupaciones de Kazuo Ishiguro, pero el hecho de que sus protagonistas y escenarios hubieran estado hasta el momento vinculados a Japón podía tener consecuencias paradójicas. Podría ese hecho encerrar al autor en el orientalismo de quien se interesaba por los asuntos sobre los que escribía por el color local, no por su capacidad de apelar a lo universal, a lo común a toda la humanidad. Pero, por otra parte, podrían distanciar al lector occidental de unos ejemplos que acaso no haría suyos porque, precisamente, no se veía directamente implicado como protagonista ni reconocía los contextos sociales en los que tenía otras experiencias próximas. En todo caso, la voz que se hace oír en las dos primeras obras será muy parecida a la que en la tercera novela se acerque desde otro punto de vista a la experiencia en la que se conjugan los asuntos personales con los asuntos públicos.

## ■ **Los restos del día**

Al redactar la tercera de sus obras, *Los restos del día*, el escritor había hallado un asunto al que su voz y sus preocupaciones se adecuaban admirablemente. Pero, a poco que se piense en ello, tanto la voz como el asunto concreto que constituye el interés de este nuevo relato ya estaban de alguna forma presentes en *Un artista del mundo flotante*. *Los restos del día* está construida con el material de las reflexiones de un solo personaje que va dando cuenta de sí, de su pasado, del mundo que lo rodea, lo rodeaba, de otros personajes. Las reflexiones son demoradas, minuciosas, lentas; están construidas con interpolaciones y retrocesos al pasado, a su propio discurso, con correcciones, con aclaraciones, y con revisiones; sobre todo, con revisiones. Son reflexiones, además, redactadas desde el punto de vista de alguien que de forma evidente se expresa desde la insuficiencia de sus

conocimientos. La primera y única voz que se oye en *Los restos del día* es la de un mayordomo. La figura laboral del mayordomo envía al lector a una atmósfera victoriana. Y la delicadeza de las precisiones de esa voz, el cuidado profesional, los recelos, las reticencias y el análisis de lo escuchado, las cautelas y las precauciones, las diferentes formas de la preocupación, todo ello evoca el delicado mundo de las novelas de Jane Austen. Sin embargo, nada más lejos del mundo de Jane Austen. Mejor dicho, la novela combina las menudencias de la vida cotidiana, tan Jane Austen, con la atención a los destinos de la humanidad. Para empezar, a Kazuo Ishiguro no le parece que la marcha del mundo dependa de la institución del matrimonio, aunque no desdeñe la atención a los estados emocionales de sus personajes. Tampoco es ajeno el autor, por boca del despistado mayordomo, a la marcha del mundo. A diferencia de Jane Austen, quien nunca mostró interés por las andanzas de Napoleón ni por los ajetreo de Wellington, Kazuo Ishiguro, a través de Stevens, el mayordomo de *Lord Darlington*, se preocupa por el Tratado de Versalles, por las relaciones de Alemania e Inglaterra en los años anteriores a la Segunda Guerra Mundial, por la política exterior de Francia y de los Estados Unidos. Y se preocupa y se ocupa en la obra por las responsabilidades individuales y colectivas. Las reflexiones, como no podía ser de otra manera, son lo suficientemente hegelianas como para que el lector no sepa bien si lo que se convierte en una creencia para Stevens es algo que perdurará o será, una vez más, una nueva manifestación del error, cuya falsedad demostrarán hechos futuros. Si en sus dos primeras obras Ishiguro pudo haber corrido el riesgo de que se le considerara un autor cuya obra, en cuanto a sus intereses y temas, se restringiera a su Japón natal, con la nueva novela se arriesgaba a que lo consideraran un autor demasiado centrado en un consabido tipismo británico: el de las formas de la decadencia de la aristocracia inglesa, un asunto sobre el que se ha escrito mucho en Inglaterra, desde las obras satíricas y más o menos melancólicas de Evelyn Waugh, hasta, más recientemente, una novela tan descarnada como *¡Menudo reparto!*, de Jonathan Coe. Aquel tipismo, además, es algo que no evita del todo la película que se rodó sobre la novela de Ishiguro.

En un momento de la obra, el redactor de estas notas de viaje recuerda los momentos sin duda exaltantes en los que se discutían las cualidades profesionales superiores del gran mayordomo.

*En los ambientes profesionales nos hacemos desde hace años una pregunta, que en muchas reuniones ha sido nuestro tema de discusión: ¿Qué es un «gran» mayordomo? Todavía me parece escuchar el bulli-*

*cio que organizábamos algunas noches en la sala del servicio, cuando conversábamos durante horas en torno a la chimenea sobre este tema* (Ishiguro, 2017a: 37).

Convenientemente, con metonímica oportunidad, dos párrafos antes, la misma persona se preguntaba por el paisaje y por la grandeza de Gran Bretaña. «Designamos nuestro país con el nombre de *Gran Bretaña*, hecho que algunos considerarán de poco tacto. Sin embargo, me atrevería a decir que solo nuestro paisaje ya justifica la utilización de este término altanero» (Ishiguro, 2017a: 36). Es inevitable no relacionar la grandeza de Gran Bretaña con la grandeza del gran mayordomo. Y la ironía se hace más honda cuando el lector repara en que la grandeza imputable a Gran Bretaña, que el mayordomo es capaz de mencionar y que justifica el apelativo, es la que proviene del paisaje. Lo interesante de la comparación es el hecho de que al examinar en qué consiste ser un gran mayordomo se está examinando y cuestionando, asimismo, sea dicho de paso, a Gran Bretaña, pues el mayordomo es, como pocas, una de las figuras representativas de lo que fue el Imperio Británico en todo su esplendor ochocentista. No se le ocultará al lector en ningún momento que el destino de los grandes mayordomos es, mediante homología metonímica, el destino de Gran Bretaña, de esa Gran Bretaña cuya grandeza proviene del paisaje. Que el análisis sea autoanálisis no hace la obra sino más compleja en sus últimas significaciones, pues el mayordomo, finalmente, no aclara muy bien en qué consiste ser un gran mayordomo. Su definición provisional y revisable no despeja todas las dudas que pudiera abrigar el lector. No es poco divertido que la novela desborde de una ironía que, muy apropiadamente, se considera una de las esencias del carácter inglés. Por ejemplo, prevalece de forma eminente esta ironía jocosa en todo un senado de mayordomos, reunido en sesión parlamentaria, que debe dictaminar sobre la esencia de la «gran mayordomidad». Véase la cita más completa de lo dicho anteriormente:

*En los ambientes profesionales nos hacemos desde hace años una pregunta, que en muchas reuniones ha sido nuestro tema de discusión: ¿Qué es un gran mayordomo? Todavía me parece escuchar el bullicio que organizábamos algunas noches en la sala del servicio, cuando conversábamos durante horas en torno a la chimenea sobre este tema. Y reparen en que si he dicho «qué es» y no «quién puede ser» un gran mayordomo, se debe a que nadie se atrevería a cuestionar seriamente los grandes nombres que en mi época podían recibir este apelativo. Me estoy refiriendo a personalidades como Mister Marshall, el mayordomo*

*de Charleville House, o como Mister Lane, de Bridewood. Si han tenido el privilegio de haber conocido a tales hombres, sabrán en qué consiste esa cualidad a la que me refiero, aunque al mismo tiempo entenderán por qué digo que no es nada fácil definirla de un modo preciso* (Ishiguro, 2017a: 37).

Cierto, no debe de ser nada fácil determinar quién es o no es un gran mayordomo. Sin duda, es una de esas clasificaciones ociosas que no interesan a nadie. Pero constituyen la obsesión y la preocupación para una persona que ve cómo su vida deja de tener sentido cuando la institución que ha albergado toda su ejecutoria profesional deja de existir. Al final de la obra, vendida la casa y disperso el antiguo servicio, el mayordomo, ante el nuevo propietario, un millonario americano, hace lo que puede para recuperar un oficio que, de forma irremisible, se ha convertido en historia. Y aquí es oportuno recordar el curso paralelo de las reflexiones sobre Gran Bretaña y sobre los mayordomos.

Se ha escrito mucho sobre las limitaciones del mayordomo, de Stevens. Se ha señalado su desconocimiento de las cosas, su desconocimiento de las personas y el desconocimiento de sí. La obra no obstante, tiene varios pliegues que la convierten en algo diferente de lo que pudiera parecer a simple vista. Si la obra fuera todo eso que se ha dicho, podría resumirse de forma sencilla. Pero no hay forma sencilla de resumirla. La novela es la confesión de un mayordomo4e una persona con cierta buena educación. Por ejemplo: «Me estoy refiriendo a cosas como tener buen acento y dominio del lenguaje, o una cultura general que abarque temas tan variados como la cetrería o el apareamiento de las salamandras...» (Ishiguro, 2017a: 43). Es inevitable que el lector, mientras se sonríe, piense que una persona capaz de interponer semejante distancia irónica entre lo dicho y su interpretación, tiene mucho que decir, e indirectamente lo dice, sobre muchas otras cosas que se escuchan en la novela. Por ejemplo, *Lord Darlington* tiene un amigo íntimo, *Sir David Cardinal*, con quien ha preparado una conferencia en Darlington Hall para hablar de asuntos internacionales. *Sir David* tiene un hijo, *Reginald*, que cuenta veintitrés años, cuyo padrino es *Lord Darlington*. *Reginald* va a casarse y *Sir David* pide a su amigo, *Lord Darlington*, que instruya a su hijo sobre «Los misterios de la naturaleza» (Ishiguro, 2017a: 91). Pero *Lord Darlington* decide que sea el mayordomo quien instruya a su ahijado sobre esos misterios. La forma en que el mayordomo, después de considerarlo con cuidado, traduce al inglés el deseo de su patrono no tiene desperdicio: «El deseo de *Sir David* es que usted sepa, señor, que las damas y los caballeros difieren en varios

aspectos que son fundamentales» (Ishiguro, 2017a: 93). No esperaría menos el lector de quien había confesado previamente que estudiaba en sus ratos de ocio para poder hablar sobre cetrería y sobre el apareamiento de las salamandras. Por supuesto, Reginald Cardinal estaba al tanto de esos misterios. Pero el comentario apuntala esa idea más o menos popular acerca de la reserva y pudor de las clases altas inglesas en torno a lo que en la novela se denominan los «misterios de la naturaleza». La comicidad nace del hecho de que la naturaleza, a pesar del conocimiento que hubiera podido atesorar el mayordomo Stevens sobre cetrería, apareamiento de las salamandras y diferencias entre damas y caballeros, es un completo misterio para él. Y hace triste a esa comicidad el hecho de que se juegue con algo que pertenece a la sátira social de tipo convencional: el sexo es tan poco importante para algunos ingleses que deben ser los criados los que informen de las peculiaridades de aquel a los hijos de los señores.

El propio Reginald Cardinal halla que el desconocimiento de Stevens de las circunstancias previas a la Guerra es irritante. «Usted solo ve las cosas, sin pararse a pensar en lo que significan» (Ishiguro, 2017a: 230). La frase está más llena de implicaciones de lo que a primera vista parece. Lo está porque si Stevens tiene un defecto, ese defecto es pensar demasiado, pensar demasiado en lo que significan las cosas. Pensar en las cosas, como Hamlet, hasta el punto de la indecisión y la parálisis. Quizá cada objeto de atención de Stevens no sea un asunto de transcendencia nacional o internacional, pero no cabe duda de que algunas o muchas de las ramas en la copa de ese árbol que guarda las preocupaciones del mayordomo llegan a los lugares en los que estas interesan a todos, a todos los ciudadanos.

Además de las virtudes prácticas del gran mayordomo, está el asunto de la dignidad. Un asunto al que Stevens dedica varias páginas de su relato. Y es un concepto cuya definición e importancia ocupa su mente porque es importante para definir qué es la profesión de mayordomo y cómo debe ejercese. A decir verdad, la «dignidad» es la clave de bóveda que sostiene el arco de responsabilidades sociales, morales y profesionales. La «dignidad» tiende ese arco bajo el que tiene que pasar todo lo que en la humanidad es respetable o comprensible. «Y ahora permítanme manifestar lo siguiente: la ‘dignidad’ de un mayordomo está profundamente relacionada con su capacidad de ser fiel a la profesión que representa» (Ishiguro, 2017a: 51). Finalmente, la dignidad lleva al mayordomo a preguntarse por aquello que es, a la postre, un asunto de confianza.

*No obstante, si un mayordomo espera ser alguien, llega un día en que debe cejar en su búsqueda, en que debe decirse: «Este patrón encarna todo lo que considero noble y admirable. A partir de ahora me dedicaré a servirle». Así se jura lealtad de un modo inteligente. ¿Es algo «indigno»? No es más que la aceptación de una verdad ineludible: que personas como ustedes o como yo no llegaremos nunca a entender los hechos importantes que se desarrollan actualmente en el mundo, y, por este motivo, lo mejor que podemos hacer es confiar en un patrón que consideramos honrado y sensato* (Ishiguro, 2017a: 210).

El asunto de la comprensión, entender las cosas, es fundamental para leer la novela. Y la confesión de las limitaciones humanas para conocer las cosas la hace suya una persona sobre cuya capacidad de entendimiento la crítica ha regado toda clase de dudas y aun descalificaciones. El mayordomo parte de la idea de que no todo puede saberse, pero a él le basta limitarse a comprender aquello que cae bajo la esfera de sus responsabilidades. Y eso se hace tras haber dado el primer paso, el paso que lo ha llevado a depositar su confianza en una persona concreta. La confianza, además, es el pasaporte para obtener beneficios que no se circunscriben al satisfactorio desempeño de las funciones.

*Cuanto más se piensa en este hecho, más obvio parece: pertenecer a una casa verdaderamente distinguida es condición necesaria para ser considerado un «gran» mayordomo, y sin duda alguna solo es un «gran» mayordomo el que a lo largo de su carrera ha estado siempre al servicio de grandes caballeros y, a través de estos, ha servido a toda la humanidad* (Ishiguro, 2017a: 127).

Puede seguirse a lo largo de la novela el contexto y oportunidades en las que el narrador utiliza estas palabras para averiguar más sobre ellas. La palabra «dignidad», por ejemplo, de la que Stevens llega a dar esta sorprendente descripción: «en realidad, se trata de no desnudarse en público» (Ishiguro, 2017a: 218), permite apreciar no solo el sentido del humor, costosamente adquirido, de Stevens, sino algo más importante: el cuidado que hay que tener al interpretar la palabras del mayordomo, según sea la persona a la que este se dirija. Si el lector sorteá todas las dificultades de una lectura, que no es nada inocente, puede llegar al reverso en el que el mayordomo más o menos cazarro, inexperto en el arte de las asuntos políticos del mundo, devuelve con ironía todos los golpes. Uno de los amigos de *Lord Darlington*, un caballero que se llama *Mister Spencer*, en una velada

hacia 1935, con el deseo de desmontar los valores de la democracia, se dirige a Stevens y le hace la siguiente pregunta:

*Dígame, ¿considera que la situación de la deuda con respecto a América constituye un factor significativo del bajo nivel actual de los intercambios comerciales? ¿O cree que se trata tan solo de una teoría errónea y que la auténtica raíz del problema es el abandono del patrón oro? (Ishiguro, 2017a: 204).*

A esta la siguen otras dos preguntas no menos enrevesadas, que vienen a demostrar que Stevens no es capaz de responder a preguntas de interés político general y que lo descalifican como ciudadano, como votante y como representante de una democracia cuyo fundamento es «este buen hombre y millones de personas como él» (Ishiguro, 2017a: 205). Sin embargo, la pragmática del intercambio verbal, sugiere que Stevens, aun no conociendo la respuesta de las preguntas, entendió perfectamente bien su intencionalidad. Sabe que un mayordomo que conozca su oficio solo tiene una respuesta posible para semejante pregunta: «Lo lamento señor –dijo–, pero es un problema en el que no puedo ayudarle» (Ishiguro, 2017a: 204). La democracia no quiere decir que todos los ciudadanos sean capaces de dictaminar sobre asuntos económicos de cierta complejidad o sobre intrincadas transacciones internacionales, uno de los ejercicios de la democracia consiste en elegir a aquellos que sobre esos asuntos tomarán decisiones. El mayordomo es un firme creyente en uno de los rasgos esenciales de la civilización: la división del trabajo.

Como se ve, el artificio de la novela descansa sobre la base de la confianza interpersonal. La confianza quiere decir que sobre asuntos respecto de los cuales no se puede juzgar, lo mejor es recurrir a aquella persona o personas que previamente han sido señaladas como merecedoras de crédito. Dignidad y confianza. Las sucesivas matizaciones contextuales respecto de dos vocablos que aparecen con relativa frecuencia en la novela, «dignidad» y «confianza», responden a muchas de las preguntas que se hace el lector. Finalmente, el mayordomo se siente defraudado por el señor a quien él eligió con la esperanza de contribuir a la mejora de la humanidad. Su vida, en este sentido, ha sido una equivocación. *Lord Darlington* lo decepcionó en asuntos de la mayor importancia. Sin embargo, *Lord Darlington* tuvo la honradez de aceptar que se había equivocado y se arrepintió de sus errores. De igual forma, Stevens, quien cree que puede volver a los tiempos en que tímidamente alentaba un amor clandestino por *Miss Kenton*, piensa que se equivocó en el pasado, y piensa que este viaje que ha emprendido le permitirá volver a aquella

situación. Pero él no tiene a quién pedir perdón, y la novela concluye mientras él hace un resumen de su vida a un desconocido con quien coincide en un banco ante el mar. Esta figura, que no es plenamente trágica ni del todo cómica, hace de Stevens un personaje próximo a Malvolio. El psicorrígido mayordomo, sin embargo, cuando las palabras de *Miss Kenton* le hicieron saber que habría podido tener una vida junto a ella, hace un comentario, breve y punzante y que acaso pase inadvertido: «sentí que se me partía el corazón» (Ishiguro, 2017a: 247). En esta descripción se encierra el resumen y la expresión más precisa de la vida emocional de Stevens.

## ■ La película

De esta novela, con parecido título, *Lo que queda del día*, con guion de Ruth Prawer Jhabvala, dirigida por James Ivory, se rodó una película en 1993. Los protagonistas fueron Anthony Hopkins, como

el mayordomo Stevens, y Emma Thompson, como el ama de llaves *Miss Kenton*. También tenían papeles relevantes James Fox, como *Lord Darlington*, y Christopher Reeve, quien desempeñó el papel del millonario americano que, finalmente, adquirió Darlington Hall. El reparto incluía, además, actores como Peter Vaughan, Hugh Grant, Michael Lonsdale y Tim Pigott-Smith. La película no evita del todo incurrir en los excesos de la obra *period piece*, es decir, de la 'obra de época', que presta más atención a la reconstrucción histórica que al sentido de la historia, que presta más atención al



lujo del vestuario y el decorado, mobiliario e inmobiliario, que a la riqueza de la psicología. Hay incluso unas breves escenas del comienzo de la caza del zorro, que se supone que traen a la obra un ambiente adecuado, propio de la aristocracia inglesa en el período inmediatamente anterior a la Segunda Guerra Mundial. Y ese tipismo tiene el inconveniente de que milita contra lo que pudiera ser el espíritu de la obra. Pero se logra, admirablemente, crear la imagen de la insatisfacción personal del ama de llaves, *Miss Kenton*, y se interpreta no menos admirablemente la frialdad emocional y la indolencia sexual del mayordomo, Stevens.

## ■ Desconsuelos y otros inconvenientes

En la novela *Los inconsolables* (1995), la cuarta del autor, los acontecimientos, como ya se ha señalado, ocurren siguiendo una lógica que recuerda el mundo de *Alicia en el país de las maravillas*. El lector puede reconocer, en su caso, la coherencia de las relaciones y de los diálogos en el interior de cada cuadro o escena, pero no hay un marco que incluya todo en su interior, no hay relato abarcador que articule con sentido las diferentes partes de la novela. En este sentido, la acción sigue el discurrir de los acontecimientos, en lo que en una novela es la continuidad narrativa, pero, cuando parece que va a ocurrir algo que permita entender que se sigue un relato respetuoso con el principio de realidad, el autor se distrae con algún asunto menor, circunstancial, sobrevenido, que se convierte en un nuevo movimiento que, a su vez, engendra lógicas de los acontecimientos y lógicas narrativas extrañas a todo lo anterior. ¿Qué hacer con esta falta de dirección o de sentido? ¿Reproduce esto la falta de dirección o de sentido de la vida misma del individuo? «Intuí que corría el riesgo de perder el control de las cosas, y sentí que en parte volvía a invadirme la intensa irritación que había sentido horas atrás ante el modo en que Sophie introducía el caos en mi vida» (Ishiguro, 1997: 266). El reconocimiento del caos implica que hay un mundo exterior a la acción desde el que se juzga lo que ocurre en la novela.

La obra, ¿levanta el mapa de la falta de dirección o de sentido de la vida social? ¿Ironiza sobre el precario control de los seres humanos respecto de sus propios actos? ¿Muestra la urdimbre surrealista del tapiz en el que se representa la vida cotidiana? ¿Todo lo anterior junto? Durante la lectura, los nombres de Kafka o de Beckett, se ha señalado varias veces, acudirán a la mente del lector en más de un momento. Y también algunas de las formas narrativas del surrealismo podrán servir de comprensión de fenómenos mitigadamente surrealistas. Más próximos a la elaboración de los sueños, en lo relativo a la voluntad contrariada, por ejemplo, que a algunas narrativas cinematográficas, como las de Buñuel en *Un perro andaluz* o en *La edad de oro*. Hay técnicas narrativas que se han descrito como «realismo onírico», tal vez esta descripción convenga a la obra. «Propongo que el modo narrativo de *Los inconsolables* se denomine 'realismo onírico' [...] el soñar despierto en esta obra parece que lo animara una lógica del cumplimiento de los deseos» (François, 2004: 80). Por otra parte, la admiración y el temor, que no hace falta haber leído demasiado a Foucault para pensar que son dos caras de la misma moneda, son el centro de interés de una obra que tiene como asunto principal la llegada de un conocido músico a una ciudad europea. Pero la admiración y el temor, sin objeto

concreto con el que identificarse, también relacionan la atmósfera de *Los inconsolables* con la atmósfera de *El castillo* de Kafka. La constancia del diferimiento es la filosofía práctica de la acción humana: nada ocurre, nada deja de ocurrir, nada ocurre cuando estaba previsto que ocurriera. La obra se ocupa de las esperanzas humanas, sí, pero no se ocupa de las esperanzas como objeto inalcanzable, sino de las esperanzas cotidianas frustradas por una maraña de acontecimientos que se solapan, interfieren entre sí, se anuncian de forma inesperada, quiebran la voluntad del protagonista, distraen su atención o condicionan sus respuestas.

La obra, ¿se interesa por algo concreto? Se interesa por un sinfín de pequeños incidentes que caen dentro del fuero de la acción cotidiana: el ingreso en un hotel, la comodidad o incomodidad de una habitación, los ruidos que se oyen desde la habitación, las personas a las que se conoce o reconoce, las conversaciones fortuitas con personajes que, bruscamente, adquieren una significación insospechada. Pero también habla de imposibles situaciones que solo se explican violentando el principio de realidad. Se cuestionan las relaciones humanas más firmes, la de las relaciones de parentesco, hasta el punto de que cuando la novela ha terminado no se sabe muy bien si Sophie y Boris son, respectivamente, la esposa y el hijo de Ryder. No se sabe si los amigos de la infancia de Ryder son amigos o son personas a quienes acaba de conocer. Los vínculos de las relaciones personales parecen más caprichosos que frágiles. La obra se aleja considerablemente de todo lo que antes había escrito el autor. Ese hecho quizá hizo que parte de la crítica reseñara la novela con cierto grado de hostilidad. «*Los inconsolables* (1995), la cuarta novela de Kazuo Ishiguro, fue recibida con reseñas francamente contradictorias, algunos críticos proclamaron que era una obra maestra, otros dijeron que era un fracaso, pero todos se mostraron de acuerdo en que era enigmática» (Fairbanks, 2013: 603). Que una novela sea «enigmática» no se sabe muy bien si es algo elogioso o negativo.

No dejan de percibirse en la nueva obra las huellas de preocupaciones que ya habían ocupado páginas en anteriores novelas del autor. Todo es explicable, todo gesto, toda acción, toda omisión, toda decisión y toda indecisión, pero, precisamente, todo es explicable hasta que deja de serlo, y deja de ser explicable no por insuficiencia de información, sino por exceso de explicaciones. No puede entenderse nada de la vida de Ryder, pero no puede entenderse porque toda la novela es una explicación de su vida y nada se refiere a lo que podrían ser decisiones decisivas o importantes en su vida. El conjunto es una vasta desorganización que amplía descomunalmente, sin explicarlo, el caos que es la vida de Ryder. La estructura de la música y las

apreciaciones sobre la música acaso sean la mejor forma de entender el sentido de esta obra y el de la vida de Ryder o la de cualquiera de los personajes de la obra:

*Brodsky tenía muy poco en cuenta la estructura externa de la música –las concesiones del compositor a la tonalidad y la melodía que ornaban la superficie de la obra–, y se centraba en las formas vivas ocultas tras la «cáscara». Había cierta calidad levemente sórdida en todo ello, algo cercano al exhibicionismo, que sugería que el propio Brodsky se sentía profundamente turbado ante la naturaleza de lo que estaba desvelando, pero no podía resistirse a la compulsión de seguir hacia adelante. El efecto resultaba turbador, pero irresistible* (Ishiguro, 1997: 525).

La cita describe el momento en que un director de orquesta, Brodsky, cuya biografía llena no pocas páginas de *Los inconsolables*, dirige la orquesta que interpreta una pieza de un compositor imaginario, Mullery, quien también tiene su presencia indirecta en la novela. Ryder está escuchando la pieza que dirige Brodsky y hace el comentario que aquí se ha reproducido. Pero no es difícil relacionar esta impresión de la ejecución de una pieza musical con la misma obra que se está leyendo. Sustitúyase Brodsky por Ishiguro y «música» por «novela», y acaso se perciba aquí algo del sentido de esta obra. Se asiste así a una suerte de metaficción indirecta. Se habla de la dificultad de la construcción, pero se habla de esta dificultad en relación con la música, no con la novela. Pero el lector no podrá sustraerse a la tentación de aplicar lo que lee a la propia novela que está leyendo. En cierta forma, es inevitable que la forma de la novela, su disposición textual, tenga una estrecha relación con la vida misma, la de Ryder o cualquier otra vida:

*Según el autor, Los inconsolables es una obra que se pensó como metafórica: «Se supone que el libro es una metáfora de la forma en que la mayoría de nosotros tiene vidas en las que se cometan errores, y fingimos que sabemos dónde vamos, pero, realmente, no sabemos dónde «vamos». La técnica narrativa del «realismo onírico» es ideal para los estados de ánimo de desorientación y ansiedad inherentes al tema de la incompetencia existencial. Lo que es más importante, hasta cierto punto, el mundo de los sueños permite suspender el juicio moral normal y, en su lugar, sencillamente, permite comprender a un personaje desde sus hondos traumas interiores, y permite la exploración de un mundo de interioridad pura al ignorar cualquier «mundo real» más allá de él* (Fairbanks, 2013: 617).

Y la disposición textual de la obra que se lee puede intuirse o adivinarse en algunas de las reflexiones sobre música que aquí y allá aparecen en la novela. En todo caso, no puede olvidar el lector en ningún momento que la relación entre lo que se dice, en cuanto a la organización textual de la obra musical y la obra que se lee, se aplica asimismo al protagonista y al resto de personajes de la novela. Es difícil dejar de pensar en la versión narrativa en la que se conocen los personajes cuando se oyen las palabras que dedica Ryder a la valoración de formas artísticas en una reunión informal con músicos y estudiosos de la música. Como en otras ocasiones, el ruido del ambiente, los agónicos ajetreos de los personajes, su fragilidad emocional quizá oculten el sentido cómico de las observaciones y de las respuestas de Ryder. Por ejemplo, esta pregunta: «Señor Ryder, ¿es cierto que las tríadas pigmentadas poseen valores emocionales intrínsecos con independencia del contexto? ¿Es usted de esa opinión?» (Ishiguro, 1997: 217). La pregunta, bien se ve, es una rebuscada pedantería sobre la separación de los elementos formales en la obra de arte y el sentido de aquellos. La respuesta de Ryder es la siguiente: «Una tríada pigmentada no posee propiedades intrínsecas. De hecho, su color emocional puede cambiar significativamente no solo según el contexto, sino también según el volumen, es mi opinión personal» (Ishiguro, 1997: 217). Más adelante, en la misma reunión, se le hace una nueva pregunta a Ryder: «Díganos: ¿tiene razón Henri al sostener que, en la obra de Kazan, no podemos abandonar la dinámica circular a cualquier costa?» (Ishiguro, 1997: 220). En este caso, la respuesta de Ryder se espacia en dos momentos:

*Mi opinión personal es que Kazan nunca se sirve de las limitaciones formalizadas. Ni de la dinámica circular ni siquiera de la estructura de barras. Lo que sucede es que hay demasiados estratos superpuestos, demasiadas emociones, sobre todo en sus últimas obras. [...] Entiendo –continué– la tentación de recurrir a tales artificios. Hay un miedo natural a la música que impregna todos los recursos del músico. Pero la respuesta reside sin duda en alzarse hasta el nivel del reto, no en recurrir a limitaciones. Claro que el reto podría ser muy grande, en ese caso la respuesta estaría en dejar en paz a Kazan. Uno jamás debería hacer de una limitación una virtud* (Ishiguro, 1997: 221).

Semejantes cumbres de la pedantería solo pueden verse apropiadamente cuando las corona la admiración de los oyentes, que reciben estas palabras con fervor religioso. «Eso es, eso es». «He aquí un hombre que *sabe* realmente». Pero entre burlas y veras se le ha insinuado al lector que la obra de arte, formalmente,

debe trascender sus limitaciones, y que esa transcendencia encierra el peligro de la incomprendión. La obra de arte verbal también participa de los peligros de la formalización o de la ausencia de forma. *Los inconsolables* propone la paradoja de que los procesos de construcción formales desarticulan la vida, su traducción a relatos, y a la vez permiten ver que la vida está intrínsecamente desarticulada.

*Cuando fuimos huérfanos* (2000), quinta novela de su autor, fue recibida con críticas en general no muy favorables. Quizá porque se pensó que la trama era una concesión a la literatura de género, quizá porque no pareció convincente un argumento que estaba demasiado ligado a un género. Sin embargo, el interés por la obra de género no solo ha sido una constante en la obra de Ishiguro, sino que el autor volverá a recurrir a géneros novelescos más o menos tradicionales en las dos novelas siguientes que escriba, que muestran una inclinación por trabajar formas expresivas y recursos muy formalizados. El argumento se centra en la biografía de un inglés, Christopher Banks, que se cría en Shanghái, que se queda sin padres cuando cuenta diez años y es enviado a Inglaterra donde se educa bajo la tutela de una tía. Después de sus años de formación, Christopher Banks elige la profesión de detective. Los azares de la vida y de las tensiones internacionales lo llevan a China, donde debe resolver un caso muy importante. Una vez en China, se dedica a averiguar lo que ocurrió con sus padres. Finalmente, descubre que su padre murió. Y aunque halla a su madre, esta no lo reconoce. La trama puede parecer, por una parte, que debe demasiado a las convenciones del género, pero, por otra parte, pudiera parecer que aquellos aspectos que interesan a Ishiguro no encajan en las convenciones del género en el que aparecen.

*Con “Cuando fuimos huérfanos”, Kazuo Ishiguro, por primera vez, se enfrenta con el tratamiento directo de las cruentas escenas de guerra que pueden impresionar y asustar a los lectores. En las dos primeras novelas, Nagasaki simplemente proporcionaba el telón de fondo contra el cual Ishiguro mostraba el estado emocional de los protagonistas. No había escenas de bombardeos, excepto varias descripciones de los trabajos de reconstrucción y la presencia de unas ruinas en las que nadie se fijaba. Si no se daba cuenta, el lector podría quedarse solo con lo personal, si decidía no prestar atención a las condiciones históricas. Esas partes espantosas sobre la muerte en Cuando fuimos huérfanos pueden ser más efectivas para dirigir la atención de los lectores más jóvenes hacia la catástrofe que una guerra acarrea a la gente y a la sociedad, creando así la conciencia histórica de los lectores* (Guo, 2012: 2015).

Sin embargo, la novela, aunque pudiera parecer una desviación respecto de formas literarias ya empleadas, no deja de tener lazos de unión con las dos primeras obras, también los tiene con la tercera, en cuanto al análisis de las implicaciones de lo personal, lo social y lo político.

## ■ **Tiempo de distopía**

*Nunca me abandones* (2005), es la sexta novela del autor. De nuevo el escritor sorprende a sus lectores con un cambio radical de formas y modos expresivos. Los sorprende con un escenario nuevo y ajeno a cualquier otro sobre el que hubiera podido escribir anteriormente. La obra puede clasificarse sin dificultad dentro del género de las distopías, un género en el que han sobresalido, acaso más aún que en el de las utopías, los escritores británicos. Y el argumento es muy sencillo. Un grupo de muchachos, que pasan su infancia en el internado de Hailsham, es el fruto de un proceso de clonación. El lector lo sabe y no lo sabe. Al igual que los propios niños, los protagonistas, quienes, a la vez, saben y no saben todo lo relativo a su origen. Algo deberían sospechar, como debería sospecharlo el lector, cuando se advierte que ningún niño tiene un solo recuerdo familiar, ni muestra tampoco ningún niño una sola señal de procedencia social. Hay un tipo de conciencia a la que hace singular el modo de desvelamiento ante sí misma. «El problema, a mi juicio, es que se os ha dicho y no se os ha dicho» (Ishiguro, 2017b: 106), les dice a los estudiantes Lucy, una de sus cuidadoras. De igual modo, al lector, se le ha dicho y no se le ha dicho. Hasta el momento en que pueden encajar todas las piezas del rompecabezas, el lector se ha limitado a conocer las vidas de unos jóvenes en un internado. Y este es un recurso favorito de Kazuo Ishiguro: la lentitud en el desvelamiento. La lenta formación en la conciencia de una realidad que en su momento no se interpretó correctamente, aunque hubiera ya algunos datos que habrían podido proporcionar una orientación. Esta lentitud es algo de lo que se ha servido el escritor en casi todas sus obras previas. Y es algo que, finalmente, se resuelve, como en las obras precedentes, en una forma u otra de inconclusión.

Los intereses de los muchachos y muchachas del internado son los comunes a todos los jóvenes: los misterios del destino personal, en su dimensión emocional y sentimental, los del sexo y el atractivo de una vida todavía sin estrenar y que promete toda suerte de peripecias y experiencias profesionales. Que los muchachos sean fruto de una clonación y no de un proceso de reproducción natural es solo el comienzo de una serie de limitaciones. Entre las más lacerantes: que no puedan

participar de los destinos comunes de la humanidad, que no puedan reproducirse, que no puedan ejercer una vida profesional. Pero la más grave, la limitación determinante, es la vinculada a la finalidad del proceso de clonación del cual son fruto. Esta finalidad consiste en proporcionar órganos para transplantes que beneficiarán a los humanos de la serie genética ordinaria, a los humanos no clonados. La ideología subyacente es aterradora. La mente que ideó la «fabricación» de seres humanos que tuvieran como única finalidad de sus vidas la de ser un almacén provisional de órganos, un archivo vivo, para prolongar la vida de aquellas personas reproducidas de forma tradicional, cuyos órganos sufrieran alguna clase de disfunción, no tuvo en cuenta el sencillo hecho de que creaba seres humanos con emociones, sentimientos, deseos y esperanzas en todo idénticos a los de los seres humanos a partir de las cuales habían sido fabricados.

Así expuesto el argumento es descarnado y la acción se representa sobre un escenario que le resulta familiar al lector. La evocación de *Blade Runner* es muy evidente, pero la originalidad de Kazuo Ishiguro consiste en introducirse en la conciencia de los personajes, singularmente, en la conciencia de Kathy H., la narradora, ante la cual el lector se examina como ella examina a sus pacientes y a sí misma. Los «donantes», así los llama ella y así se llaman ellos a sí mismos. Estas personas clonadas, después de la adolescencia, se convierten en donantes. Sin embargo, algunos de ellos pasan por una etapa previa, que puede durar varios años, durante la cual los que se han convertido en «cuidadores», se ocupan de los donantes en los períodos en los que estos se someten a las operaciones mediante las que les extraen los órganos. Un período particularmente cruel. Después de las operaciones de extracción de órganos, los donantes mueren, «completan», en el vocabulario de este nuevo mundo. Sin embargo, el destino de los cuidadores, después de un período de años, no es sino el de convertirse en donante. Once años desempeña Kathy las funciones de cuidadora, pero ella misma sabe de al menos otro cuidador que desempeñó las funciones de los cuidados durante catorce años. Después de someterse a un período de extracción de órganos, que puede dar ocasión a una, dos, tres o, como mucho, cuatro intervenciones, el donante «completa», fallece.

Por supuesto, la novela encierra todas esas distinciones que tanto han atraído a los pensadores sociales en torno a la muy heideggeriana identidad y diferencia. Los asuntos de alteridad, rechazo, exclusión, las diferencias... todo ello es objeto de atención en esta novela. La abundancia de diferentes aspectos sobre los que trata esta obra convierte en interminable el análisis. De forma que, para elegir solo uno de los aspectos de mayor interés, puede considerarse el asunto de la identi-

dad, no solo en cuanto reflejo de lo propio, sino en cuanto a lo que constituye la identificación positiva de lo humano.

Se le han señalado a la obra dos deficiencias que pudieran presentarse como prueba contra la credibilidad del relato en los propios términos en los que este está escrito. La primera de ellas es lo escasa, vale decir, lo inexistente que es la información relativa a los procesos de clonación. Esta deficiencia afecta a la posibilidad de que la obra pueda considerarse ficción científica. El proceso de clonación y su presunta complejidad y dificultad se conocen ya en sus consecuencias prácticas, pero no se le informa al lector sobre los procesos científicos o técnicos involucrados. «La falta de interés de Ishiguro en la ciencia de su mundo ficticio es evidente y está encriptada en la propia narración» (Mullan, 2009: 104). Acaso no sea «falta de interés» la mejor forma de describir lo que ocurre en la novela. Requírese que *Nunca me abandones* se publicó en 2005, pero la acción se sitúa, en una hoja exenta, entre la portada y el primer capítulo, en «Inglaterra, finales de la década de 1990». Es decir, la obra es un pronóstico fallido sobre una evolución tecnológica y social que ya pertenece al pasado, no se espera que se alcance en una fecha mejor o peor pronosticada, que haga material la futura evolución de la sociedad.

Quizá una de las razones del desinterés del autor por los aspectos científicos del relato esté, además, vinculada a la propia interpretación de la obra. La segunda de ellas se refiere al hecho de que los «donantes» acepten su destino sin rechistar, sin ni siquiera un gesto de rebeldía. «Tan profundamente están arraigadas estas creencias que la falta de respuesta de los estudiantes ante su destino se ha interpretado como falta de realismo» (Mullan, 2009: 104). De alguna forma, esta objeción puede relacionarse con la primera. El proceso técnico de la clonación puede incluir mecanismos que mientras dejen intactos muchos rasgos humanos de los clones, sin embargo, supriman la agresividad y la capacidad para rebelarse contra situaciones crueles o injustas. Pero puede haber una explicación para que las cosas sean así sin infringir las convenciones del realismo, no más, al menos, de lo que ordinariamente se infringen esas convenciones incluso en la más realista de las narraciones. Si *Los inconsolables* pudo entenderse de forma metafórica, ¿por qué no puede entenderse también esta nueva novela de forma metafórica? Quizá ese mundo ya es real, en el sentido en que algunas personas de la sociedad actual ya son vulnerables en el mismo sentido en el que lo son los jóvenes de *Nunca me abandones*. No es preciso estar muy informado sobre el tráfico de órganos humanos para saber que hay un comercio clandestino e ilegal que hace de ese tráfico un negocio.

La alteridad se concibe como lo que diferencia a unos seres humanos de otros, sea la raza, el credo religioso, la pertenencia a una comunidad, la clase social, la nacionalidad, hasta llegar a los narcisismos de las pequeñas diferencias de los que hablaba Freud. La identidad no es esencial. Como los fonemas, se crea mediante oposiciones. Y es, en este sentido, esencialista. Hace causa de las diferencias. Más allá de las circunstancias del contexto social particular de los clones, la exclusión es una actitud de las que rebajan la dignidad humana desde el primer momento.

*Así que estás esperando, incluso aunque no lo sepas, esperando a que llegue el momento en que caigas en la cuenta de que eres diferente de ellos; de que hay gente ahí fuera, como Madame, que no te odia ni te desea ningún mal, pero que se estremece ante el mero pensamiento de tu persona –cómo te han traído a este mundo y por qué–, y que sienten miedo ante la idea de que tu mano pueda rozar la suya* (Ishiguro, 2017b: 54).

Así expuesta, esta observación vale para el mundo de los clones que protagonizan esta novela, pero vale también para incontables contextos sociales en los que esto que aquí se dice no deja de ser verdad. De forma que acaso esto explique el poder metafórico de una crónica que relata los incidentes de las vidas más o menos insignificantes de los clones, de quienes lo único que pueden hacer es venderse a sí mismos, vender su carne, sus entrañas. Muy adecuadamente, la protagonista establece un paralelo entre ella misma y su «possible», la persona a partir de la cual fue clonada. Ella está convencida de que su «possible» fue una prostituta.

No obstante, los clones han recibido una educación especial, porque Heilsham era, después de todo, un lugar especial. Era una escuela en la que se pretendía tratar a los clones como si de verdad fueran seres humanos. Hasta tal punto llega tan compasiva actitud que su educación es en sí misma un acto de generosidad, recorre los lugares clásicos de la educación humanista tradicional. La educación busca el desarrollo de las potencias artísticas e intelectuales de los internos, de los estudiantes. Y en el terreno de la educación artística se llega a uno de los puntos donde se concentra el debate sobre la humanidad de la humanidad. En algún momento, a lo largo del periodo de educación del grupo de clones, se divulgó la idea de que las obras de arte, las que guardaban sus cuidadoras en lo que los estudiantes llamaban «la galería», podrían evitar que quienes fueran agraciados con el talento humano de la creación artística lograrían unos años más de supervivencia. La obra de arte habría mostrado cuán humanos eran. La capacidad de los clones para el arte podría demostrar su humanidad, pues esa misma capacidad serviría para demostrar que amaban de verdad. Su humanidad sería incuestiona-

ble. El arte y el amor los avalaban. Esta idea resulta ser un deseo sin justificación posible. Los clones están condenados a un destino que no admite alteración por hipotéticas alteraciones de su percepción social. Ni todo su talento artístico, que lo poseen, ni su capacidad para amar, demostrable, impedirán que se cumplan los plazos previstos y que se den los pasos que los conducirán a su aniquilación. Pero si se apela al poder metafórico de la novela, eso mismo que se aplica como regla para los clones, puede aplicarse a quienes crearon a los clones. El arte, para los seres humanos, es exactamente lo mismo que es arte el relato escrito por Kathy H.: un plazo que se interpone entre ella misma y su muerte, la muestra de un valor espiritual, personal, único, propio. Y lo mismo podría decirse del autor de la novela, *Nunca me abandones*, y de sus lectores, todos interponen el arte ante la certeza de la muerte, pues el arte, en teoría, muestra lo más humano de los seres humanos. Es un problema de escala, del tiempo en el que se mide la vida humana, pero los resultados son idénticos.

*No es solo eso –dijo en voz baja–. Para empezar, ¿para qué hacíamos todos aquellos trabajos artísticos? ¿Por qué enseñarnos, y animarnos, y hacernos producir todo aquello? Si lo único que vamos a hacer en la vida es donar, y luego morirnos, ¿para qué todas aquellas clases? ¿Para qué todos aquellos libros y debates? (Ishiguro, 2017b: 318).*

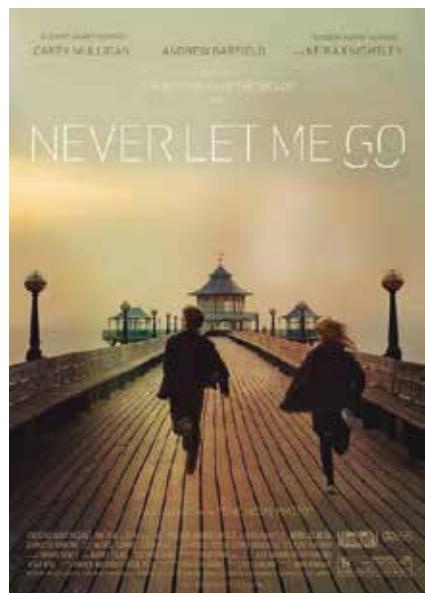
Ese heideggeriano ser-estar, lo que permanece, lo que se orienta en dirección a la muerte (*Sein zum Tode*), la base del existencialismo francés, es también la base de una obra que no habla de clones, aunque hable de ellos, sino, en general, de las limitaciones y del destino de la vida humana.

Sin embargo, nada de lo anterior llega a la raíz romántica de una obra confesional que, como algunas de las grandes obras del Romanticismo, interpone entre el sujeto y la muerte la frágil defensa de una vida espiritualmente rica y entregada al disfrute de obras de arte creadas por la sensibilidad humana. Una de las fuentes de preocupación para el lector de Kazuo Ishiguro es el de la recepción, el de la interlocución. Muchos de los narradores de sus obras se dirigen a un público. Y ese público no está representado en las preguntas que podrían hacérseles a los interesados. Stevens, Ryder, Kathy H., ¿en qué lector han pensado cuando escriben sus relatos? ¿Quiénes son los destinatarios o el destinatario de sus reflexiones?, ¿de sus preocupaciones? Nada explica mediante análisis y valoraciones ideológicas o contextuales o sociales el melancólico, triste y desesperado discurso de una joven que a los treinta años se ha resignado a morir. Se ha visto obligada a aceptar

la pérdida de todos sus amigos, la de la persona a la que amaba; se ha resignado a aceptar también que su condición personal le había hecho imposible, desde su nacimiento, una actividad profesional, el amor, el disfrute del arte como expresión de lo más bello que el ser humano puede crear o la posibilidad de la reproducción. Y todas esas renuncias se hacen en contra de su voluntad. Ella posee la capacidad para desarrollar todo lo que se le ha negado. Las limitaciones de la condición humana quedan descritas en esta trágica novela como limitaciones impuestas.

## ■ La película

Como *Los restos del día*, la novela *Nunca me abandones* también fue llevaba al cine. Y también con éxito. En 2010 se rodó, dirigida por Mark Romanek, con guion de Alex Garland, con interpretaciones a cargo de Carey Mulligan, Keira Knightley, Andrew Garfield, una película del mismo nombre que la novela. La película capta con fidelidad el tono de la narradora, resignado y desesperado, pero contenido, haciendo así, tal vez, más profundo el desconsuelo y más inapelable la emoción. Quizá el mayor mérito de la película sea el de haber propuesto un registro emocional sombrío, sin incurrir en sentimentalismos, ese peligro que todo el mundo desea evitar; un registro en el que la queja y el conflicto se entienden más por la alusión a ellos que por su presencia.



## ■ Regreso a la Edad Media

La última novela de Kazuo Ishiguro, por el momento, es *El gigante enterrado* (2015). Con esta obra, el escritor una vez más sorprende a sus lectores, y se aparta considerablemente, en cuanto a recursos, escenario y formas narrativas, de cualquier cosa que hubiera escrito antes. El tiempo es la alta Edad Media, el escenario es lo que andando el tiempo llegaría a ser Inglaterra. Un país dividido tajantemente

entre britones y sajones. La obra propone una búsqueda, la del dragón hembra *Querig*. Propone también un viaje que tiene como destino la reunión de una pareja de ancianos, un matrimonio, con su hijo. Pero todo viaje es asimismo una experiencia y una búsqueda. *Sir Gawain y el guerrero sajón Wistan*, a quienes acompañan el matrimonio anciano y el joven *Edwin*, se proponen enfrentarse con el dragón hembra y matarlo. Tras muchas peripecias, los cuatro llegan al lugar donde se halla el dragón. Aquí se descubre que *Sir Gawain*, en realidad, es el protector del dragón hembra. *Winstan* mata en combate primero a *Sir Gawain* y después mata al dragón hembra. La experiencia de la novela es la experiencia del viaje, los incidentes que a lo largo del trayecto sobrevienen a los personajes, el enriquecimiento de sus experiencias personales. La búsqueda es más difícil de determinar, está primero la búsqueda de los caballeros, que se traduce en sus actos para cumplir un mandato. Está la búsqueda del hijo, que resulta ser infructuosa. Está la búsqueda de la memoria perdida, que aflige al anciano matrimonio. Esta memoria, finalmente, sí se recupera, y el matrimonio anciano, con la vida recobrada, puede reanudar una relación sobre la base de la comprensión y el perdón. No son difíciles de entender las lecciones de la novela. Hay un mundo físico en el que hay que enfrentarse con ogros y dragones, pero hay también otro mundo en el que el individuo se enfrenta consigo mismo: «Como todos los que estuvimos con Arturo, me he enfrentado a belcebús y monstruos, y también a las oscuras intenciones de los hombres, y siempre he actuado según el ejemplo de mi gran rey, incluso en medio del más feroz de los combates» (Ishiguro, 2017c: 191). *Sir Gawain* habla como, *mutatis mutandis*, habría hablado el mayordomo Stevens. La novela dedica un espacio generoso a lo que puede decirse que constituye una de las preocupaciones mayores de Ishiguro: las delicadas transacciones personales entre el individuo y su medio: la familia, los amigos, la sociedad, el país. La lectura de esta obra brinda la recomposición del rompecabezas en el que encajan todas las piezas: la pareja de ancianos en su pueblo, su relación entre ellos, la relación que tuvieron con su hijo, la relación entre sajones y britones, las formas extremas de la alteridad, desde los ogros y los monstruos hasta las brujas, los campesinos, los soldados, los frailes, los barqueros. Todas estas redes de relaciones son muy queridas para el autor, forman parte de lo que constituye el elemento central de sus preocupaciones. También lo es la memoria. Una de las reseñas que se ocupó del libro señaló que «Elegir un solo aspecto de esta historia de nieblas y monstruos, espadas y brujerías, la reduce a una sencilla parábola, es mucho más que esto. Es un profundo examen de la memoria y la culpa, un examen de la forma en que recordamos los traumas del pasado *en masse*» (Preston, 2015: 35). Las novelas de Ishiguro abordan siempre el problema del pasado y de su reconstrucción. En todas las obras de Kazuo Ishiguro, la voz narrativa pretende reconstruir el pasado. En esta

última novela, uno de los mayores esfuerzos del escritor es reconstruir el pasado, averiguar el sentido de este y su importancia en relación con el presente, conocer la forma en que el pasado condicionó el presente, es decir, el futuro. «No me contéis más cosas, *Sir Gawain*. No voy a agradeceroslo. Dejadme en cambio recuperar la vida que he llevado junto a mi amada esposa, que se estremece a mi lado» (Ishiguro, 2017c: 315). Recuperar la memoria no es una operación mecánica que manipule elementos inertes, es una forma intelectualmente activa para moldear la propia vida.

No puede reducirse la obra de un escritor a una sencilla descripción de un puñado de elementos. El interés que despierta entre los lectores está dictado por el sentido de la oportunidad y por la capacidad de referencia de los textos. La obra de Kazuo Ishiguro permite a sus lectores adentrarse en la complejidad de un mundo que es reflejo admirable de las preocupaciones de todos en los años iniciales del nuevo milenio.



## ■ Obras de Kazuo Ishiguro

Ishiguro K. (1994a). *Pálida luz en las colinas*, trad. Ángel Luis Hernández, Barcelona, Anagrama [1982].

— (1994b). *Un artista del mundo flotante*, trad. Ángel Luis Hernández, Barcelona, Editorial Anagrama [1986].

- (2017a). *Los restos del día*, trad. Ángel Luis Hernández Francés, Barcelona, Editorial Anagrama [1989].
- (1997). *Los inconsolables*, trad. Jesús Zulaika, Barcelona, Editorial Anagrama [1995].
- (2000). *Cuando fuimos huérfanos*, trad. Jesús Zulaika, Barcelona, Editorial Anagrama [2001].
- (2017b). *Nunca me abandones*, trad. Jesús Zulaika, Barcelona, Editorial Anagrama [2005].
- (2017c). *El gigante enterrado*, trad. Mauricio Bach, Barcelona, Editorial Anagrama [2015].

## ■ Fuentes secundarias

Fairbanks, A.H. (2013). Ontology and Narrative Technique in Kazuo Ishiguro's *The Unconsoled*, *Studies in the Novel*, 45, 4, pp. 603-619.

François, P. (2004). The Spectral Return of Death in Kazuo Ishiguro's *The Unconsoled* *Commonwealth Essays and Studies* 2004, 26, 2, pp. 77-90.

Guo, D. (2012). Trauma, Memory and History in Kazuo Ishiguro's Fiction *Theory and Practice in Language Studies*, 2, 12, pp. 2508-2516.

Matthews, S. y Groes, S. (eds.) (2009). *Kazuo Ishiguro. Contemporary Critical Perspectives*, Nueva York, Continuum International Publishing Group.

Mullan, J. (2009). On First Reading *Never Let Me Go*, en Matthews S y Groes S, eds. (2009) *Kazuo Ishiguro. Contemporary Critical Perspectives*, pp. 104-113.

Preston, A. (2015). Guilt-edged swords and sorcery: Kazuo Ishiguro's tale of mists and monsters is Game of Thrones with a conscience, *The Observer*, 1 de marzo, de 2015, Londres, p. 35.

Shaffer, B.W. (1998). *Understanding Kazuo Ishiguro*, Columbia, South Carolina, University of South Carolina Press.

# Premio Nobel de la Paz 2017

## HA SIDO OTORGADO A LA CAMPAÑA PARA ABOLIR LAS ARMAS NUCLEARES (ICAN)



El anverso de la medalla que concede el Comité Nobel Noruego al Premio Nobel de la Paz, muestra a Alfred Nobel en una pose un poco diferente a la de las otras medallas, aunque la inscripción es la misma. El reverso de la medalla representa un grupo de tres hombres formando un vínculo fraternal. La inscripción dice: *Pro pace et fraternitate Gentium*. En el canto de la medalla aparece grabado *Prix Nobel de la Paix*, el año correspondiente y el nombre del Laureado al Premio Nobel de la Paz. Diseño Gustav Vigeland.

Federico Mayor Zaragoza

El 6 de octubre de 2017, el Comité Noruego del Nobel dio a conocer la concesión del Premio Nobel de la Paz a La Campaña Internacional para Abolir las Armas Nucleares (ICAN), “por sus esfuerzos en llamar la atención de las consecuencias catastróficas humanitarias de cualquier uso de las armas nucleares”. El premio es un llamamiento a los países que cuentan con arsenal atómico para que inicien “negociaciones serias” para eliminarlo.

El Premio Nobel de la Paz 2017 reconoce así al tratado internacional que proscribe las armas nucleares al igual que los tratados de desarme de otras armas de destrucción masiva, como las biológicas y las químicas, suscritos en 1972 y 1993, respectivamente. El tratado de desarme nuclear, abierto a su firma el pasado 20 de septiembre, esgrimió como argumento principal los terribles efectos, los impactos humanitarios de las armas nucleares. Y no sólo por su uso militar, ya que un accidente nuclear originaría una catástrofe de magnitud incalculable. El mundo en el que vivimos es inseguro por múltiples causas, entre las que figuran las armas nucleares. Conseguir el desarme nuclear no es un proyecto, sino un

imperativo proceso ético. El partido republicano de los Estados Unidos no quiere renunciar a esta peligrosísima modalidad de su hegemonía militar. En octubre 1986, el Presidente de la Unión Soviética, Mikhaïl Gorbachov, ofreció al Presidente Reagan en Reykiavik la posibilidad de hacer el “anuncio histórico” de completar la eliminación de las ojivas nucleares. El Presidente norteamericano accedió al 70%... y, a pesar de la insistencia de Gorbachov, no fue posible conseguir que la “espada de Damocles” nuclear dejara de amenazar a la humanidad. Cuando Reagan le transmitió la decisión final, el Presidente de la URSS le contestó con las mismas palabras del Presidente Eisenhower en la toma de posesión del Presidente John Fitzgerald Kennedy del 20 de enero de 1961: “Usted es la persona más poderosa de la tierra, excepción hecha del complejo bélico-industrial de los Estados Unidos”.

Y así seguimos. Es precisa una contundente presión internacional en el marco de unas Naciones Unidas refundadas, como expresión del multilateralismo democrático en la gobernanza mundial.

El 27 de septiembre pasado, Rusia concluyó la destrucción de sus arsenales de armas químicas, es otro aliciente para forzar ahora el desarme nuclear. Se calcula que en la actualidad hay en el mundo unas 15 mil armas nucleares, la mayoría de las cuales se encuentran en los arsenales de Estados Unidos y Rusia. El resto se halla en la República Popular China, Francia, Gran Bretaña, Israel, India, Pakistán... ¿y Corea del Norte?

El galardón que recibió el ICAN, el 10 de diciembre de 2017, es un gran estímulo a la “nueva” diplomacia, puesto que empleando argumentos de índole humanitaria, con gobiernos y organismos no gubernamentales, han logrado tratados para proscribir las minas terrestres antipersonal y las municiones “en racimo”.

La ICAN se integra por organismos de 101 países de todo el mundo y nació hace 10 años (2007), teniendo su sede en Ginebra. Su creación se produjo con motivo de una conferencia internacional sobre el tratado de no proliferación nuclear. La ICAN cuenta con un presupuesto anual de 1,2 millones de francos suizos (aproximadamente un millón de euros) y opera con la contribución financiera de varios gobiernos como el noruego, el suizo y el holandés, así como también de la Santa Sede. Asimismo, recibe donaciones privadas y de fundaciones. El propósito de la ICAN era lograr que se firmara un Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares, objetivo que se consiguió el 7 de julio de 2017. Firmaron 122 países,

lo que constituye un éxito indudable, a pesar de que otros 69 países, entre ellos todas las potencias nucleares, han manifestado que no lo suscribirían. Pero lo importante es que casi dos terceras partes de las naciones consideran que las armas nucleares deben ser erradicadas. La Fundación Nobel, al otorgar el Premio Nobel de la Paz 2017, favorece la causa antinuclear y constituye un paso más en favor de un mundo más seguro. Con esta decisión del Comité Noruego se acelerará la ratificación y entrada en vigor del Tratado referido.

## ■ Introducción

No es la primera vez que los Nobel premian la seguridad nuclear. En 2005, el premio recayó en la Agencia Internacional de la Energía Atómica, “por sus esfuerzos para evitar que la energía nuclear se use con propósitos militares y para garantizar que la energía nuclear con fines pacíficos se utilice de la manera más segura posible”. Además, el comité de los premios Nobel ha concedido el galardón a otras organizaciones similares a la premiada ahora, sea por perseguir el uso indebido de la energía nuclear o por prevenir las armas en general. En 1985, lo concedió a la Asociación Internacional de Médicos para la Prevención de la Guerra Nuclear. En 1995, se concedió a la Organización para la Prohibición de Armas. La campaña internacional para prohibir las armas nucleares (ICAN), ganadora del premio Nobel de la Paz 2017, ha hecho de la defensa del reciente tratado su razón de ser. El texto del tratado aprobado por la ONU el pasado 7 de julio es, según Naciones Unidas, el primero contra las armas nucleares de índole multilateral y legalmente vinculante en 20 años. Se adoptó con el voto a favor de 122 países, uno en contra (Países Bajos) y la única abstención de Singapur. Su objetivo es prohibir las actividades vinculadas al uso armamentístico de la energía nuclear relativas a su producción y desarrollo, hacer pruebas con ellas, adquirirlas, poseerlas o almacenarlas. También proscribe que se usen como amenaza.

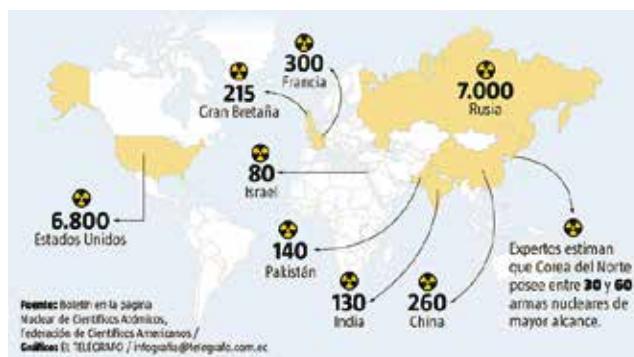


Previo a la aprobación, de dos tercios de los miembros de la ONU, además de la Unión Europea, la Cruz Roja y otras entidades internacionales, se mantuvieron las negociaciones durante meses. Pero para que entre en vigor hay que esperar

hasta que pasen 90 días a partir de la fecha en que al menos 50 países lo hayan ratificado. La firma y ratificación de los Estados miembros está abierta desde el pasado 20 de septiembre. Desde entonces 53 países lo han firmado y solo tres de ellos lo han ratificado.

Como ya se ha indicado, las armas nucleares se encuentran en manos de nueve países: Estados Unidos, Rusia, Francia, Reino Unido, India, Pakistán, China, Israel y Corea del Norte. Esos Estados han reducido sus reservas atómicas en los últimos años, pero han aumentado recientemente el presupuesto y se encuentran en un ambicioso proceso de renovación. La Oficina de Presupuesto del Congreso estadounidense ha anunciado una inversión de 400.000 millones de dólares (350.000 millones de euros) durante el próximo decenio y el Parlamento británico aprobó, justo hace un año, con un respaldo del 80% de los diputados, renovar su envejecido arsenal con 40.000 millones de libras (unos 46.000 millones de euros).

Los estadounidenses y los rusos son, con diferencia, los que acumulan más armas de este tipo (6.800 y 7.000 respectivamente). Le siguen los arsenales de Francia, con 300; China, con 270 y Reino Unido, con 215. Pero no todas estas armas están desplegadas, es decir, no están colocadas en misiles o situadas en bases con fuerzas operativas. De hecho, sólo cuatro países. Estados Unidos, Rusia, Reino Unido y Francia, cuentan con algún despliegue nuclear. Este es el escenario por el que se ha premiado a la ICAN:

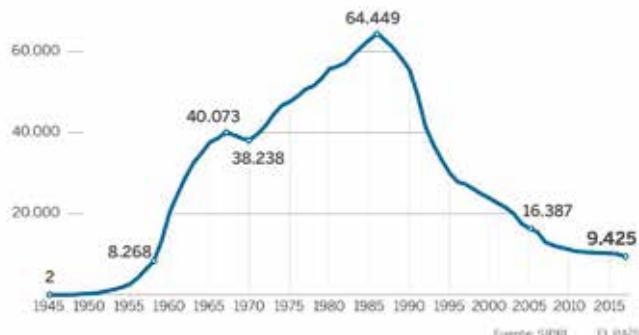


Armamento nuclear en el mundo.

El arsenal nuclear desplegado se redujo hasta las 9.425 cabezas nucleares a principios de 2017, la cifra más baja desde 1959, aunque las armas modernas son mucho más precisas y letales. La tendencia iniciada a mediados de los ochenta –el máximo histórico fue de 64.500 en 1986– y ralentizada en los últimos años contrasta con la mayor inversión de los Estados con armamento nuclear para renovar su material atómico.

A pesar de que ninguno de los nueve Estados con capacidad nuclear ha mostrado indicios de querer desmantelar su arsenal, la Comisión de Desarme de la ONU presentó en mayo un anteproyecto de un tratado global para prohibir todas las armas nucleares.

La reducción constante del total de armas nucleares se debe principalmente a tres acuerdos pactados entre Moscú y Washington desde 1986. A pesar de que la cifra haya caído hasta niveles de los cincuenta, la capacidad de destrucción de estas armas atómicas ha crecido exponencialmente y tienen una balística mucho más refinada. Desde hace siete años, EE.UU. y Rusia no mantienen conversaciones de desarme, pese a los esfuerzos de los especialistas de ambos países.



Cabezas nucleares operativas en el mundo.

## ■ Campaña Internacional para la Abolición de las Armas Nucleares (ICAN)

La Campaña Internacional para la Abolición de las Armas Nucleares (ICAN) es una coalición de ONGs de países fundada en 2007 en Viena. Está formada

por 468 asociaciones de más de un centenar de países, que incluyen grupos de actuación local y federaciones de ámbito internacional que representan a millones de personas. La coalición, en la que solo trabajan tres empleados, tiene su sede en el recinto del Consejo Ecuménico de las Iglesias en Ginebra, muy cerca de la sede de la ONU en la ciudad suiza. Cualquier ONG puede formar parte y no se requieren cuotas de asociación o de suscripción anual.

El objetivo de ICAN es movilizar a las personas de todos los países para inspirar, persuadir y presionar a sus gobiernos para que firmen un tratado cuyo único objetivo es prohibir las armas nucleares. La coalición nació en un momento en el que el movimiento antinuclear estaba fragmentado y ha logrado aunar a sus activistas en un objetivo común. La directora del ICAN, Beatrice Fihn, se expresó así: “Este galardón supone un gran reconocimiento para el trabajo de los activistas a lo largo de los años y especialmente de los *Hibakusha* (supervivientes de los bombardeos nucleares de Hiroshima y Nagasaki en la Segunda Guerra Mundial)”. Su testimonio ha sido crítico y social, añadiendo que “La elección de Donald Trump ha hecho que mucha gente se sienta muy incómoda con la idea de que él solo puede autorizar el uso de armas nucleares”. Con estas palabras Fihn ha criticado que el presidente estadounidense “no escuche” a los expertos.

La Organización, que cuenta con un presupuesto anual de 1,2 millones de francos suizos (1 millón de euros), funciona gracias a las ayudas financieras aportadas por varios Gobiernos, como los de Noruega, Suiza, Holanda, Alemania o el Vaticano, así como por donantes privados, la Unión Europea y fundaciones. La coalición ha sabido movilizar a activistas y personalidades para defender su causa, como el surcoreano Ban Ki-moon, ex Secretario General de la ONU, el artista y activista chino Ai Weiwei o Desmond Tutu, arzobispo sudafricano y Nobel de la Paz en 1984.

En plena escalada de tensión por el creciente desafío nuclear de Corea del Norte y por las nubes que se acumulan sobre el pacto atómico con Irán, el Comité que otorga el premio Nobel de la Paz anunció a ICAN la concesión de este galardón. El Comité noruego señaló, en su motivación, que el riesgo de conflicto atómico es ahora mayor de lo que ha sido en mucho tiempo y reclama a las potencias nucleares que avancen en el desarme.

El premio Nobel reconoce el papel central de la Campaña Internacional para la Abolición de las Armas Nucleares (ICAN) en la concienciación colectiva sobre

“las catastróficas consecuencias del uso de armas nucleares” y su liderazgo en el impulso para lograr la prohibición de esas armas sobre la base de un tratado internacional.

El Tratado únicamente ha sido ratificado por Tailandia, Guyana y el Vaticano.

Estados Unidos, Francia y Reino Unido afirmaron en un comunicado conjunto que no piensan sumarse al tratado, y señalaron que “una prohibición que no solucione los problemas de seguridad por los que una fuerza nuclear disuasoria sigue siendo necesaria no resultará en la eliminación de una sola arma atómica y no mejorará la seguridad de ningún país ni la paz internacional”. Los países occidentales con capacidad atómica argumentan que la capacidad disuasoria que le confiere su armamento ha sido esencial para evitar calamidades globales en los últimos 70 años. La OTAN señaló este viernes con un comunicado su compromiso con “crear las condiciones para un mundo sin armas nucleares”, pero avisó –lo que constituye una evidente contradicción– que mientras estas sigan existiendo, seguirá siendo una “alianza nuclearizada”.

El Tratado sobre la Prohibición de Armas Nucleares es un nuevo movimiento político, desprovisto de eficacia real, para lograr un avance en el desarme. Los negociadores de la prohibición consideran que el acuerdo puede representar un nuevo y fuerte elemento de presión sobre la opinión pública y los gobernantes de las potencias nucleares.

Cinco potencias nucleares, EE.UU., Rusia, China, Francia y Reino Unido, están ya comprometidas para la reducción de sus arsenales en virtud de su adhesión del Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP), en vigor desde 1970, que a cambio de reconocer su estatus nuclear les exige que avancen progresivamente hacia el desarme. La formulación legal de esa exigencia es sin embargo vaga, y permite que la lentitud en ese proceso no sea un incumplimiento impugnable. EE.UU. y Rusia firmaron, en 2010 en Praga, un tratado, conocido como New START, que dio un nuevo impulso al desarme, aunque modesto en cantidad.

Por otra parte, India, Pakistán, Corea del Norte e Israel, también poseen armas atómicas, pero no son parte del TNP. En el caso israelí, las autoridades mantienen una política de ambigüedad por la que ni confirman ni desmienten su capacidad nuclear.



Países con armamento nuclear.

El secretario general de la ONU, el portugués Antonio Guterres celebró la decisión con la siguiente afirmación: “Ahora más que nunca necesitamos un mundo sin armas nucleares”.

El galardón irrumpió en un escenario internacional cargado de una tensión desconocida desde el apogeo de la Guerra Fría. La escalada de agresividad de Corea del Norte, que ha acelerado el ritmo e intensidad de sus ensayos nucleares y de misiles balísticos, ha provocado durísimas amenazas de represalia por parte de la Casa Blanca. El pasado septiembre, el presidente Trump mencionó en la Asamblea General de la ONU que si Estados Unidos se viera obligado a defenderse o a defender sus aliados, no dudaría en proceder a la “destrucción total” de Corea del Norte. En una reunión con altos mandos militares, el mandatario manifestó de forma sibilina que esa cita podía ser “la calma antes de la tormenta”.

## ■ Armas Nucleares

Un *arma nuclear* es un explosivo de alto poder que utiliza la energía nuclear. Esto incluye los vectores que portan dicha energía, que pueden ser los misiles

balísticos intercontinentales, los misiles balísticos de lanzamiento submarino, y los bombarderos de largo alcance, portadores de misiles de crucero tanto sub-sónicos, como supersónicos e hipersónicos. Todos ellos de carácter netamente estratégico, han alcanzado una diversificación asombrosa tanto de las plataformas de lanzamiento como de los vectores portadores, que son lanzados por aquellas. Tal vez se podría incluir parte de la infraestructura involucrada en su manejo y operación, porque muchos de estos sistemas de lanzamiento, al igual que sus vectores portadores, funcionan como parte indisoluble de una compleja red de subsistemas asociados (de defensa estratégica activa y pasiva), sin los cuales estas plataformas y vectores no tendrían operatividad alguna o no cumplirían bien sus funciones. También se encuentran entre estos misiles de tipo balístico, los siguientes: misil balístico de corto alcance, los de alcance medio, los de alcance intermedio, y el misil antibalístico. También los de crucero polivalentes, que pueden ser de “doble uso” porque incorporan tanto ojivas cargadas con armas de destrucción masiva (WMD, *Weapons of Mass Destruction*), que encuadra tanto las cargas nucleares (medidas en potencia con mT y kT) como las biológicas (ejemplo típico: ántrax o carbunco), radiológicas (ejemplo típico: bomba de neutrones) y químicas (ejemplo típico: napalm –palmitato de sodio + combustible–), comúnmente llamadas armas binarias, porque se componen siempre de dos agentes aislados entre ellos, pero que cuando estalla la bomba se unen provocando la destrucción y contaminación de un área determinada. Normalmente, estos misiles se utilizan para misiones tácticas, que solo influyen en una determinada batalla, pero también pueden utilizarse con fines estratégicos dotándolos con ojivas de NBQR (nuclear, radiológica, biológica y química) o genéricamente WMD.

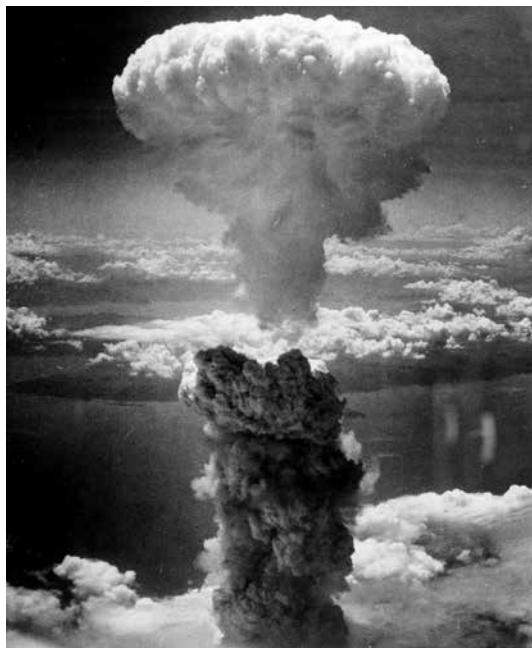
La primera detonación nuclear fue la denominada Prueba Trinity, realizada en la población de Alamogordo, Nuevo México, EE.UU., el 16 de julio de 1945, como parte experimental del Proyecto Manhattan. Poco tiempo después, otras dos bombas atómicas de uranio y de plutonio fueron detonadas, respectivamente, sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki (Japón). Esto provocó un gran impacto en el gobierno de Japón y aceleró su rendición incondicional, dando así fin a la Segunda Guerra Mundial.

Las bombas nucleares se encuentran entre las armas con mayor poder de destrucción, por lo que comúnmente se les incluye dentro de la clasificación ABQR. Su radio de acción alcanza decenas o centenares de kilómetros a partir del punto

de detonación. Además, producen daños asociados como la contaminación radiactiva y, si fueran utilizadas a gran escala, posiblemente el invierno nuclear.

## ■ La bomba atómica

Bomba atómica o bomba nuclear es un arma de destrucción masiva que obtiene una gran cantidad de energía por medio de reacciones nucleares. Su funcionamiento se basa en provocar una reacción en cadena sostenida, que produce una nube distintiva en forma de hongo.



Nube de “hongo” de la bomba atómica de Hiroshima a 18 kilómetros del epicentro de la explosión, lanzada el 6 de agosto de 1945.

se le añaden otros elementos que potencian la creación de neutrones libres, acelerando la reacción en cadena, que se hace “sostenida”, provocando la destrucción de un área determinada por la onda de choque mecánica, la onda térmica y la radiactividad.

**Bomba de plutonio:** el arma de plutonio es más moderna y tiene un diseño más complicado. La masa fisionable se rodea de explosivos plásticos convencionales,

Su mecanismo de acción se basa en la fisión de núcleos atómicos pesados en elementos más ligeros, mediante el bombardeo de neutrones que, al impactar en dicho material, provocan una explosión nuclear en cadena. Para que esto suceda, es necesario usar núcleos fisibles, como el uranio-235 o el plutonio-239. Hay varias clases de bombas atómicas.

**Bomba de uranio:** en este caso, a una masa de uranio, llamada “subcrítica”, se le añade una cantidad del mismo elemento químico para conseguir una “masa crítica” que comienza a fisionar por sí misma. Al mismo tiempo,

como el RDX, especialmente diseñados para comprimir el metal, de forma que una bola de plutonio del tamaño de una pelota de tenis se reduce casi al instante al tamaño de una canica, aumentando grandemente la densidad del material, que entra instantáneamente en una reacción en cadena de fisión nuclear descontrolada, provocando la explosión y la destrucción total dentro de un perímetro limitado, además de que el entorno circundante se vuelva altamente radiactivo de tal modo que deja graves secuelas en el organismo de cualquier ser vivo.

**Bomba de hidrógeno o termonuclear:** las bombas termonucleares se han convertido en las armas más destructivas de la historia, siendo varias veces más poderosas que las bombas nucleares de Hiroshima y Nagasaki. La **bomba de hidrógeno** (bomba H), **bomba térmica de fusión** o **bomba termonuclear** se basa en la obtención de la energía que se desprende al fusionarse dos núcleos atómicos en lugar de la fisión de los mismos. La energía se desprende al fusionarse los núcleos de deuterio (<sup>2</sup>H) y de tritio (<sup>3</sup>H), para dar un núcleo de helio. La reacción en cadena se propaga merced a los neutrones de alta energía desprendidos en la reacción.

Para iniciar este tipo de reacción en cadena es necesario un gran aporte de energía, por lo que todas las bombas de fusión contienen un elemento llamado iniciador o primario, que es una bomba atómica de fisión que produce la detonación inicial de la bomba principal. A los elementos que componen la parte fusionable de la bomba (deuterio, tritio, litio, etc.) se les conoce como secundarios.

La primera bomba de este tipo fue detonada en Enewetak (atolón de las Islas Marshall) el 1 de noviembre de 1952, durante la prueba Ivy Mike, con marcados efectos en el ecosistema de la región. La temperatura alcanzada en la «zona cero» (lugar de la explosión) fue de más de 15 millones de grados, tan caliente como el núcleo del Sol, por unas fracciones de segundo.

Técnicamente hablando, las bombas llamadas termonucleares o bombas de hidrógeno no son bombas de fusión pura, sino bombas de fisión/fusión/fisión. La detonación del artefacto primario de fisión produce la reacción de fusión, como la descrita, cuyo propósito es generar neutrones de alta velocidad, que, a su vez, producen la fisión del <sup>235</sup>U, <sup>239</sup>Pu o incluso <sup>238</sup>U que forma parte del secundario.

**Bombas de neutrones:** detonación de una bomba atómica, el 15 de abril de 1948, en el atolón de Eniwetok, concretamente la prueba X-Ray comprendida en la Operación Sandstone.

La *bomba de neutrones*, también llamada bomba N, bomba de radiación directa incrementada o bomba de radiación forzada, es un arma nuclear derivada de la bomba H que los Estados Unidos comenzaron a desplegar a finales de los años setenta. En las bombas H, normalmente menos del 25% de la energía liberada se obtiene por fusión nuclear y el otro 75% por fisión. En la bomba de neutrones se consigue hacer bajar el porcentaje de energía obtenida por fisión a menos del 50%, e incluso se ha llegado a hacerlo tan bajo como un 5% y el resto es por la fusión nuclear.

En consecuencia, se obtiene un nuevo tipo de bomba que para una determinada magnitud de onda expansiva y pulso térmico produce una proporción de radiaciones ionizantes (radiactividad) hasta siete veces mayor que las de una bomba H, fundamentalmente rayos X y gamma de alta penetración durante pocos segundos. En segundo lugar, buena parte de esta radiactividad es de mucha menor duración (menos de 48 horas) que la que se puede esperar de una bomba de fisión convencional.

Las consecuencias prácticas son que al detonar una bomba N se produce poca destrucción de estructuras y edificios, pero mucha afectación y muerte de los seres vivos (tanto personas como animales) por la radiación, incluso aunque estos se encuentren dentro de vehículos o instalaciones blindadas o acorazadas. Por esto se ha incluido a estas bombas en la categoría de armas tácticas, pues permiten la continuación de operaciones militares en el área por parte de unidades dotadas de protección.

## ■ **Discurso de presentación (The Nobel Foundation, Estocolmo 2017)**

Pronunciado por Berit Reiss-Andersen, Presidente del Comité Noruego del Nobel, Oslo, el 10 de diciembre de 2017.

Majestades, Altezas Reales, distinguidos representantes del Premio Nobel de la Paz, Excelencias, distinguidos invitados, Señoras y Señores.

La Campaña Internacional para Abolir las Armas Nucleares (ICAN) ha sido galardonada con el Premio Nobel de la Paz en 2017. En nombre del Comité Nobel noruego, me complace felicitar a ICAN por este premio.

ICAN está recibiendo el premio por su trabajo para llamar la atención sobre las consecuencias humanitarias catastróficas de cualquier uso de armas nucleares y sus esfuerzos innovadores para lograr una prohibición basada en el tratado de tales armas. Los esfuerzos de ICAN han dado un nuevo impulso al proceso de abolición de las armas nucleares.

El Premio de la Paz de este año sigue una tradición de premios que han honrado los esfuerzos *contra* la proliferación de armas nucleares y el desarme nuclear. Se han otorgado doce Premios de la Paz, en todo o en parte, por este tipo de trabajo por la paz. El primero fue para Phili`Noel-Baker en 1959, y el más reciente fue otorgado a Barak Obama en 2009. Y ahora, este año, a la Campaña Internacional para Abolir las Armas Nucleares (ICAN).

En dos días del mes de agosto de 1945, el mundo experimentó, por primera vez, la terrible fuerza destructiva de las armas nucleares. Los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki mataron instantáneamente a al menos 140.000 personas, la gran mayoría de las cuales eran civiles. Hiroshima fue completamente destruida y grandes secciones de Nagasaki fueron convertidas en ruinas. Pero la muerte no se terminó con Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945. El número de muertos siguió aumentando significativamente en los años posteriores, y los sobrevivientes todavía sufren los efectos de la radiación en la actualidad.

La devastación de Hiroshima y Nagasaki nos ha enseñado que las armas nucleares son tan peligrosas e infligen tanta agonía y muerte a las poblaciones civiles, que nunca deben volver a usarse.

Las armas nucleares de hoy en día son tremadamente más destructivas que las bombas lanzadas sobre Japón en 1945. Una guerra nuclear podría matar a millones de personas, alterar drásticamente el clima y el medioambiente de gran parte del planeta y desestabilizar las sociedades de una manera nunca antes vista por la humanidad. La noción de una guerra nuclear limitada es una ilusión.

Las armas nucleares no distinguen entre objetivos militares y civiles. Usados en la guerra, impactarían de manera desproporcionada en la población civil, infligiendo un inmenso e innecesario sufrimiento. Es prácticamente imposible para los civiles protegerse contra los efectos catastróficos de un ataque nuclear. El uso de armas nucleares, o incluso la amenaza de usarlas, es por lo tanto inaceptable por cualquier motivo, ya sea humanitario, moral o legal.

A pesar de todo esto, sigue siendo cierto que el equilibrio global del poder militar se mantiene gracias a las armas nucleares. La lógica de este equilibrio de terror descansa en la proposición de que las armas nucleares son un elemento disuasivo porque nadie se atrevería a atacar a un Estado con armas nucleares. Se dice que el efecto disuasorio es tan fuerte que ha impedido la guerra entre las potencias nucleares durante los últimos 70 años. La base empírica de esta suposición es muy discutible. No se puede afirmar con certeza que la disuasión haya funcionado como se esperaba. También vale la pena tener en cuenta que la disuasión nuclear requiere una amenaza *creíble* para usar armas nucleares. Las armas existen para que puedan, si es necesario, ser desplegadas.

Se han celebrado varios acuerdos y tratados internacionales que limitan la posesión y el desarrollo de armas nucleares. El más importante de ellos es el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares, o TNP. Se requieren conocimientos militares y políticos considerables para comprender plenamente todos los tratados, acuerdos e instrumentos jurídicos internacionales que regulan el desarme y el control de armamentos. Los puntos de vista que dominan el debate político son los de las grandes potencias y las alianzas poderosas.

ICAN surgió como una protesta contra el orden establecido. Las cuestiones relacionadas con las armas nucleares no son solo una cuestión que deben abordar los gobiernos, ni tampoco un tema para expertos o políticos de alto nivel. Las armas nucleares conciernen a todos, y todos tienen derecho a una opinión. ICAN ha logrado generar un nuevo compromiso entre la gente común en la campaña contra las armas nucleares. El acrónimo de la organización quizás no sea una coincidencia: PUEDO.

El mensaje principal de ICAN es que el mundo nunca puede estar seguro mientras tengamos armas nucleares. Este mensaje resuena en millones de personas que perciben que la amenaza de una guerra nuclear es mayor de lo que ha sido durante mucho tiempo, no menos debido a la situación en Corea del Norte.

Otra preocupación importante de ICAN es que el orden jurídico internacional actual es inadecuado para abordar el problema de las armas nucleares.

La entrada en vigor del Tratado de No Proliferación (TNP), en 1970, fue un avance histórico. Otorgó un estatus formal a las potencias nucleares de la época

–los Estados Unidos, la Unión Soviética, el Reino Unido, Francia y China– como estados con el derecho legal de poseer armas nucleares. Todos los demás países que se adhirieron al tratado se comprometieron, al hacerlo, a no adquirir tales armas. A cambio, los estados poseedores de armas nucleares, legalmente reconocidos, se comprometieron a iniciar negociaciones de buena fe para buscar el desarme nuclear. Esta doble promesa es el núcleo mismo del Tratado de No Proliferación, y ambas partes deben honrar el mantenimiento de la legitimidad del tratado.

Señoras y señores, no es exagerado decir que los Estados poseedores de armas nucleares solo han respetado en un grado limitado el compromiso de desarme que asumieron en el TNP. Permítanme recordarles que en 2000 la Conferencia de Examen del TNP declaró que el tratado exige “un compromiso inequívoco de los Estados poseedores de armas nucleares para lograr la eliminación total de sus arsenales que conducen al desarme nuclear”. Desde una perspectiva de Derecho internacional, los cinco estados poseedores de armas nucleares legalmente reconocidos y sus aliados han asumido la responsabilidad de ayudar a lograr el desarme y un mundo libre de armas nucleares. Si el proceso de desarme se hubiera llevado a cabo como se pretendía, la lucha de ICAN por una prohibición basada en los tratados de armas nucleares habría sido innecesaria. Es la falta de progreso hacia el desarme nuclear lo que ha hecho necesario complementar el Tratado de No Proliferación con otras iniciativas y compromisos jurídicos internacionales.

El Tratado de No Proliferación se aplica solo a los países que se han adherido a él. India, Pakistán e Israel, que poseen armas nucleares, no son miembros del TNP. Además, Corea del Norte, que ha llevado a cabo seis explosiones nucleares de prueba, se ha retirado del tratado. El desarme nuclear global no puede tener lugar sin la participación de estos países. Sin embargo, se reservan el mismo derecho a las armas nucleares que los cinco estados que adquirieron tales armas antes de 1970. Los cinco estados poseedores de armas nucleares reconocidos legalmente, por su parte, citan los arsenales nucleares de estos otros países como uno de varios argumentos para incumplir los requisitos de desarme nuclear del TNP.

Es en parte para romper este círculo vicioso que ICAN ha abogado por una prohibición universal y basada en tratados de armas nucleares.

ICAN no acepta que la falta de progreso hacia el desarme nuclear sea una necesidad solo política. La premisa de ICAN es humanitaria, sosteniendo que cualquier uso de armas nucleares causará un sufrimiento humano inaceptable. Ya se han establecido prohibiciones internacionales vinculantes para las armas químicas, las armas biológicas, las minas terrestres y las armas en racimo, precisamente por el daño y sufrimiento inaceptables que estas armas infligen a la población civil. Desafía el sentido común que las armas nucleares, que son mucho más peligrosas, no están sujetas a una prohibición comparable en virtud del Derecho internacional.

Señalar este vacío legal fue un primer paso crucial en el camino hacia un tratado de prohibición. Otro paso importante fue la Promesa Humanitaria iniciada por el Gobierno de Austria en diciembre de 2014. La Promesa es un compromiso nacional voluntario para tratar de estigmatizar, prohibir y eliminar las armas nucleares. ICAN ha trabajado resueltamente para reunir un amplio apoyo internacional para la Promesa Humanitaria. Hasta la fecha, 127 estados han firmado este compromiso.

ICAN también ha sido una fuerza motriz en los esfuerzos para garantizar una prohibición internacional vinculante de las armas nucleares. El 7 de julio de 2017, 129 Estados miembros de la ONU respaldaron un borrador final del tratado. El Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares se abrió a la firma este otoño, y ha sido firmado hasta el momento por 56 estados. Cuando 50 o más estados también hayan ratificado el tratado, se convertirá en vinculante según el Derecho internacional para los estados signatarios.

ICAN es una organización joven, fundada en 2007 por iniciativa de Médicos Internacionales para la Prevención de la Guerra Nuclear, que ganó el Premio Nobel de la Paz en 1985. ICAN es una coalición informal de 468 ONGs de más de 100 países. Es impresionante que ICAN pueda unir a tantos grupos diferentes en apoyo de un objetivo común y dar voz a millones de personas que están convencidas de que las armas nucleares no brindan seguridad, sino inseguridad.

Al otorgar el Premio de la Paz de este año a ICAN, el Comité Noruego del Nobel busca honrar este extraordinario esfuerzo para servir a los intereses de la humanidad.

El Comité Nobel cree que una prohibición internacional de las armas nucleares será un paso importante, posiblemente decisivo, en el camino hacia un mundo sin armas nucleares. Tal objetivo es totalmente coherente con la esencia de la voluntad de Alfred Nobel.

Señoras y señores, el apoyo de ICAN para una prohibición global de las armas nucleares no es indiscutible. Debemos reconocer que el tratado tiene oponentes poderosos, pero la idea de prohibir y abolir las armas nucleares no es ingenua ni nueva. Ya en 1946, en la primera resolución de la Asamblea General de la ONU, las Naciones Unidas pidieron el desarme nuclear y un régimen internacional de control de armas nucleares.

En la Cumbre de Rejkjavik en 1986, Mikhail Gorbachov y Ronald Reagan intentaron detener la espiral de la carrera de armamentos nucleares entre las dos superpotencias, y estuvieron cerca de concluir un acuerdo para abolir todos los misiles nucleares de largo alcance. Un año y medio antes, el presidente Reagan se había dirigido directamente al pueblo de los Estados Unidos y la Unión Soviética, diciendo: “No se puede ganar una guerra nuclear y nunca se debe pelear. El único valor en nuestras dos naciones que poseen armas nucleares es asegurarse de que nunca se usen. Pero entonces, ¿no sería mejor eliminarlas por completo? ”.

Hoy es más importante que nunca apoyar esta visión. Si bien la comunidad mundial puede confiar en que ningún jefe de Estado responsable podría ordenar otro ataque nuclear, no tenemos garantías de que no vaya a suceder. A pesar de los compromisos legales internacionales, los líderes irresponsables pueden llegar al poder en cualquier Estado con armas nucleares y verse envueltos en serios conflictos militares que se salen de su control.

En última instancia, las armas nucleares están controladas por seres humanos. A pesar de los avanzados mecanismos de seguridad y sistemas de control, pueden ocurrir errores técnicos y humanos, con consecuencias potencialmente catastróficas. ¿Podemos estar seguros de que los sistemas de control de las potencias nucleares algún día serán saboteados por “hackers” que actúen en nombre de estados hostiles, terroristas o extremistas?

En resumen, las armas nucleares son tan peligrosas que el único curso de acción responsable es trabajar para su eliminación y destrucción.

Mucha gente piensa que la visión de un mundo libre de armas nucleares, un Global Zero, es utópico, o incluso irresponsable.

Argumentos similares se usaron alguna vez para oponerse a los tratados que prohíben las armas biológicas y químicas, las armas en racimo y las minas terrestres. Sin embargo, las prohibiciones se hicieron realidad y la mayoría de estas armas son mucho menos frecuentes. Usarlas es tabú.

Señoras y señores, el Comité Noruego del Nobel es consciente de que el desarme de las armas nucleares presenta desafíos mucho mayores que el desarme de los tipos de armas que acabo de mencionar. Pero no se puede evitar el hecho de que los Estados poseedores de armas nucleares se han comprometido, a través del Tratado de No Proliferación, a trabajar hacia el desarme. Este es el objetivo final del tratado. A través de sus esfuerzos, ICAN ha recordado a los estados poseedores de armas nucleares que su compromiso conlleva una obligación genuina, y ¡el momento de honrarlo es ahora!

En su conferencia Nobel en 1959, Philip Noel-Baker discrepó con la opinión generalizada de que el desarme nuclear completo es imposible de lograr en el mundo real. Citó a otro ganador del Premio de la Paz, Fridtjof Nansen: “Lo difícil es lo que lleva poco tiempo; lo imposible es lo que demora un poco más”.

La gente de ICAN es impaciente y visionaria, pero no son ingenuos. ICAN reconoce que los estados con armas nucleares no pueden eliminar sus armas nucleares de la noche a la mañana. Esto debe lograrse mediante un proceso de desarme mutuo, gradual y verificable. Pero la esperanza de ICAN y del Comité Noruego del Nobel es que una prohibición legal internacional y un amplio compromiso popular presionen a todos los Estados con armas nucleares y agilicen el proceso.

Señoras y señores, hoy hay dos personas en el podio que, cada una a su manera, son representantes sobresalientes del movimiento ICAN.

La señora Setsuko Thurlow, tenía 13 años cuando experimentó el bombardeo de Hiroshima. Ha dedicado su vida a dar testimonio de los acontecimientos del 6 de agosto de 1945. Considera que su misión es describir el sufrimiento, el miedo y la muerte infligidos a su ciudad. Nadie se salvó. Los niños pequeños, sus padres, hermanos y hermanas, compañeros de clase y abuelos fueron asesinados. Usted

dice que la guerra no se puede librar de esta manera, y que nunca debe volver a suceder. Usted no nos permite olvidar.

Beatrice Fihn, usted es la Directora Ejecutiva de ICAN y tiene la difícil tarea de unir diferentes organizaciones y grupos de interés en la búsqueda de un objetivo común. Usted es un representante espléndido de la multitud de idealistas que renuncian a una carrera ordinaria y en su lugar dedican todo su tiempo y habilidades al trabajo de lograr un mundo pacífico.

Es un honor tenerla aquí como nuestros invitados, y deseamos expresarle nuestra profunda y sincera gratitud por el trabajo que realiza. Nuestro tributo también va a todas las personas y organizaciones que usted representa.

La decisión de otorgar el Premio Nobel de la Paz para 2017 a la Campaña Internacional para Abolir las Armas Nucleares tiene una sólida base en el testamento de Alfred Nobel. Su voluntad especifica tres criterios diferentes para otorgar el Premio de la Paz: la promoción de la fraternidad entre las naciones, el avance del desarme y el control de armamentos y la celebración y promoción de congresos de paz. ICAN trabaja vigorosamente para lograr el desarme nuclear. ICAN y la mayoría de los estados miembros de la ONU han contribuido a la fraternidad entre naciones mediante el apoyo a la Promesa Humanitaria. Y a través de su apoyo inspirador e innovador para las negociaciones de la ONU sobre un Tratado de Prohibición de Armas Nucleares, ICAN ha desempeñado un papel importante en lograr lo que en nuestros días equivale a un congreso internacional de paz.

Para concluir, quisiera citar a Su Santidad el Papa Francisco, quien declaró recientemente: “Las armas de destrucción masiva, en particular las armas nucleares, no crean más que una falsa sensación de seguridad. No pueden constituir la base para la coexistencia pacífica entre los miembros de la familia humana , que más bien debe inspirarse en una ética de solidaridad”.

El Comité Noruego del Nobel comparte esta opinión. Además, estamos firmemente convencidos de que ICAN, más que nadie, en el último año ha dado una nueva dirección y un nuevo vigor a los esfuerzos por lograr un mundo sin armas nucleares.

Gracias.

\* \* \*

Después del discurso de presentación la Presidenta del Comité Noruego del Nobel hizo entrega del Premio Nobel de la Paz a la Presidenta de ICAN Beatrice Fihn y a Setsuko Thurlow la medalla y el diploma.



Berit Reiss Andersen en el momento de entregar el Premio a Beatrice Fihn y a Setsuko Thurlow (fotografía cedida por ICAN).

## ■ **Conferencia Nobel (The Nobel Foundation, Estocolmo 2017)**

La conferencia Nobel, después de la entrega del Premio, fue pronunciada por Beatrice Fihn, Directora Ejecutiva de ICAN, y por Setsuko Thurlow, superviviente de la bomba de Hiroshima en Oslo el 10 de diciembre de 2017:

Majestades, miembros del Comité Noruego del Nobel, estimados invitados.

Es un gran honor aceptar el Premio Nobel de la Paz 2017 en nombre de miles de personas inspiradoras que conforman la Campaña Internacional para Abolir las Armas Nucleares.

Juntos hemos llevado la democracia al desarme y estamos remodelando el derecho internacional.

Agradecemos humildemente al Comité Nobel de Noruega por reconocer nuestro trabajo y dar impulso a nuestra causa crucial. Queremos reconocer a aquellos que tan generosamente han donado su tiempo y energía a esta campaña. Agra-

decemos a los cancilleres, diplomáticos, personal de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, funcionarios de la ONU, académicos y expertos con quienes hemos trabajado en asociación para avanzar en nuestro objetivo común.

Y agradecemos a todos los que están comprometidos a librar al mundo de esta terrible amenaza.

En docenas de lugares esparcidos en todo el mundo, en silos de misiles enterrados en nuestra tierra, en submarinos navegando a través de nuestros océanos, y a bordo de aviones que vuelan en lo alto de nuestro cielo, se encuentran 15.000 objetos de la destrucción de la humanidad.

Tal vez es la enormidad de este hecho, tal vez es la escala inimaginable de las consecuencias, lo que lleva a muchos a simplemente aceptar esta sombría realidad y continuar nuestra vida cotidiana sin pensar en los instrumentos de locura que nos rodean.

Porque es una locura dejarnos gobernar por estas armas. Muchos críticos de este movimiento sugieren que somos irracionales, idealistas sin fundamento en la realidad. Que los Estados con armas nucleares nunca las cederán.

Pero representamos la *única* opción racional. Representamos a aquellos que se niegan a aceptar armas nucleares como parte integrante de nuestro mundo, a aquellos que se niegan a tener sus destinos ligados a unas pocas líneas del código de lanzamiento.

La nuestra es la única realidad que es posible. La alternativa es impensable.

La historia de las armas nucleares tendrá un final, y depende de nosotros cuál será ese final.

¿Será el final de las armas nucleares, o será el final de nosotros?

Una de estas cosas sucederá.

El único curso de acción racional es dejar de vivir en las condiciones en que nuestra destrucción mutua sea solo una rabieta impulsiva.

Hoy quiero hablar de tres cosas: miedo, libertad y futuro.

Por la misma admisión de aquellos que los poseen, la verdadera utilidad de las armas nucleares está en su capacidad de provocar miedo. Cuando se refieren a su efecto “disuasorio”, los partidarios de las armas nucleares celebran el miedo como arma de guerra.

Están hinchando sus pechos al declarar su preparación para exterminar, en un instante, innumerables miles de vidas humanas.

El premio Nobel William Faulkner dijo al aceptar su premio en 1950, que “solo está la cuestión de ‘¿cuándo voy a volar?’”. Pero desde entonces, este temor universal ha dado paso a algo aún más peligroso: la negación.

Se acabó el miedo al Armagedón en un instante, desapareció el equilibrio entre dos bloques que se usó como justificación para la disuasión, desaparecieron los refugios fallidos.

Pero una cosa queda: los miles y miles de ojivas nucleares que nos llenaron de ese miedo.

El riesgo de uso de armas nucleares es aún mayor hoy que al final de la Guerra Fría. Pero a diferencia de la Guerra Fría, hoy enfrentamos muchos más estados armados, terroristas y guerra cibernética. Todo esto nos hace menos seguros.

Aprender a vivir con estas armas en ciega aceptación ha sido nuestro próximo gran error.

El miedo es racional. La amenaza es real. Hemos evitado la guerra nuclear no a través de un liderazgo prudente sino de buena fortuna. Tarde o temprano, si no actuamos, nuestra suerte se agotará.

Un momento de pánico o descuido, un comentario mal interpretado o un ego herido, fácilmente podría llevarnos inevitablemente a la destrucción de ciudades enteras. Una escalada militar calculada podría conducir al masivo asesinato indiscriminado de civiles.

Si solo se usara una pequeña fracción de las actuales armas nucleares, el holín y el humo de las tormentas de fuego se elevarían en la atmósfera, enfriando, oscureciendo y secando la superficie de la Tierra por más de una década.

Destruiría los cultivos de alimentos, poniendo a miles de millones en riesgo de inanición.

Sin embargo, seguimos viviendo en la negación de esta amenaza existencial.

Pero Faulkner en su discurso Nobel lanzó también un desafío a quienes vinieron después de él. Solo al ser la voz de la humanidad, dijo, podemos vencer el miedo. ¿Podemos ayudar a la humanidad a soportarlo?

El deber de ICAN es ser esa voz. La voz de la humanidad y el derecho humanitario; para hablar en nombre de los civiles. Darle voz a esa perspectiva humanitaria es cómo crearemos el final del miedo, el final de la negación. Y finalmente, el final de las armas nucleares.

Eso me lleva a mi segundo punto: la libertad.

Los “Médicos Internacionales para la Prevención de la Guerra Nuclear”, la primera organización antinuclear en ganar este premio, dijeron en 1985: “Nosotros, los médicos, protestamos por la indignación que representa tener como rehén a todo el mundo. Protestamos por la obscenidad moral de que cada uno de nosotros esté continuamente en peligro de extinción”.

Esas palabras siguen sonando verdaderas en 2017.

Debemos reclamar la libertad de no vivir nuestras vidas como rehenes de una aniquilación inminente.

Hombre –¡no mujer!– fabricamos armas nucleares para controlar a los demás, pero resulta que somos controlados por ellas.

Nos hicieron falsas promesas: que al hacer que las consecuencias de usar estas armas sean tan horrendas, cualquier conflicto es impensable; que nos mantendría libres de guerra...

Pero lejos de prevenir la guerra, estas armas nos llevaron al borde del conflicto nuclear varias veces durante la Guerra Fría. Y, en este siglo, continúan escalando hacia la guerra y la confrontación.

En Iraq, en Irán, en Cachemira, en Corea del Norte... su existencia impulsa a otros a unirse a la carrera nuclear. No nos mantienen seguros, causan conflicto.

Como Martin Luther King Jr., Premio Nobel de la Paz, las denominó en 1964, estas armas son “genocidas y suicidas”.

Son el arma del loco mantenida permanentemente en nuestro templo. Se suponía que estas armas nos mantendrían libres, pero nos niegan nuestras libertades.

Es una afrenta a la democracia ser gobernados por estas armas. Pero son solo armas. Son solo herramientas. Y tal como fueron creadas por el contexto geopolítico, pueden destruirse fácilmente al colocarlos en un contexto humanitario.

Esa es la tarea que ICAN se ha fijado.

Y el tercer punto sobre el que deseo hablar es el futuro.

Tengo el honor de compartir este acto con Setsuko Thurlow, que ha hecho que el propósito de su vida sea dar testimonio del horror de la guerra nuclear.

Ella y los *hibakusha* estaban al principio del relato, y es nuestro desafío colectivo asegurarnos de que también sean testigos del final del mismo.

Reviven el pasado doloroso, una y otra vez, para que podamos crear un futuro mejor.

Hay cientos de organizaciones que, juntas, como ICAN, están haciendo grandes progresos hacia ese futuro anhelado.

Hay miles de activistas incansables en todo el mundo que trabajan todos los días para enfrentar ese desafío.

Hay millones de personas en todo el mundo que se han puesto hombro a hombro con los activistas para mostrar, a cientos de millones más, que un futuro diferente es realmente posible.

Aquellos que dicen que el futuro que procuramos es posible deben apartarse del camino de aquellos que lo hacen realidad.

Como culminación de este esfuerzo de base, a través de la acción de la gente común, 122 naciones negociaron y concluyeron un tratado de la ONU para proscribir estas armas de destrucción masiva.

El Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares ofrece un camino hacia adelante en un momento de gran crisis mundial. Es una luz en un tiempo oscuro.

Y, además, ofrece una opción.

Una elección entre los dos finales: el final de las armas nucleares o el final de nosotros.

No es ingenuo creer en la primera elección. No es irracional pensar que los Estados nucleares pueden desarmarse. No es idealista creer en la vida por miedo y destrucción: *es una necesidad*.

Todos nosotros enfrentamos esa elección. E insto a todas las naciones a unirse al Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares, para que: Estados Unidos, elija la libertad sobre el miedo; Rusia, elija el desarme sobre la destrucción; Gran Bretaña, elija el estado de derecho sobre la opresión; Francia, elija los derechos humanos sobre el terror; China, elija la razón sobre la irracionalidad; India, elija el sentido sobre la insensatez; Pakistán, elija la lógica sobre Armageddon; Israel, elija el sentido común sobre la destrucción; Corea del Norte, elija la sabiduría sobre la ruina.

Para las naciones que creen que están protegidas bajo el paraguas de las armas nucleares: ¿serás cómplice de tu propia destrucción y la destrucción de otros en tu nombre?

A todas las naciones: ¡elige el final de las armas nucleares en lugar del final de nosotros!

Esta es la opción que representa el Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares. Únete a este Tratado.

Nosotros, los ciudadanos, no aceptamos vivir de falsedades. Estas armas no nos mantienen a salvo, están contaminando la tierra y el agua, envenenando nuestros cuerpos y manteniendo como rehén nuestro derecho a la vida.

A todos los ciudadanos del mundo: levántense con nosotros y exijan a su gobierno que se ponga del lado de la humanidad y firme este Tratado. No descansaremos hasta que todos los Estados se hayan unido, por el lado de la razón.

Ninguna nación se jacta hoy de tener un arma química. Ningún país sostiene que sea aceptable, en circunstancias extremas, usar el agente *sarin* nerviosos. Ninguna nación proclama el derecho de desatar sobre su enemigo la peste o la polio.

Eso es porque las normas internacionales se han establecido y las percepciones han cambiado.

Y ahora, finalmente, tenemos una norma inequívoca contra las armas nucleares.

Los monumentales avances nunca comienzan con un acuerdo universal.

Con cada nuevo signatario y cada año que pasa, esta nueva realidad se afianzará.

Este es el camino a seguir. Solo hay una forma de prevenir el uso de armas nucleares: prohibirlas y eliminarlas.

Las armas nucleares, como las armas químicas, las armas biológicas, las municiones en racimo y las minas terrestres antes que ellos, ahora son ilegales. Su existencia es inmoral. Su abolición está en nuestras manos.

El final es inevitable. Pero, ¿será ese el fin de las armas nucleares o el final de nosotros? Debemos elegir.

Somos un movimiento por la racionalidad. Para la democracia. Para liberarse del miedo.

Somos activistas de 468 organizaciones que están trabajando para salvaguardar el futuro, y somos representantes de la mayoría moral: los miles de millones de personas que eligen la vida por encima de la muerte, que juntos verán el final de las armas nucleares.

Gracias.

### **■ Palabras pronunciadas por Setsuko Thurlow superviviente de la bomba de Hiroshima (The Nobel Foundation, Estocolmo 2017)**

Majestades, distinguidos miembros del Comité Noruego del Nobel, compañeros activistas, aquí y en todo el mundo, damas y caballeros.

Es un gran privilegio aceptar este premio, junto con Beatrice, en nombre de todos los extraordinarios seres humanos que forman el movimiento ICAN. Cada uno de ustedes me da una tremenda esperanza de que podemos poner fin a la era de las armas nucleares.

Hablo como miembro de la familia de hibakusha, aquellos de nosotros que, por alguna posibilidad milagrosa, sobrevivimos a los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki. Durante más de siete décadas, hemos trabajado para la abolición total de las armas nucleares.

Nos hemos solidarizado con los perjudicados por la producción y la prueba de estas horribles armas en todo el mundo. Gente de lugares con nombres largamente olvidados, como Moruroa, Ekker, Semipalatinsk, Maralinga, Bikini. Gente cuyas tierras y mares fueron irradiados, cuyos cuerpos fueron experimentados, cuyas culturas fueron interrumpidas para siempre.

No, no podríamos permanecer víctimas silenciosas. Nos negamos a esperar un terrible final inmediato o la lenta intoxicación de nuestro mundo. Nos negamos a quedarnos de brazos cruzados, aterrorizados, mientras las llamadas grandes potencias nos llevaban más allá del crepúsculo nuclear y nos acercaban imprudente-

mente a la medianoche nuclear. Nos levantamos. Compartimos nuestras historias de supervivencia. Dijimos: la humanidad y las armas nucleares no pueden coexistir.

Hoy, quiero que sientan en esta sala la presencia de todos los que perecieron en Hiroshima y Nagasaki. Quiero que sientan, por encima y alrededor de nosotros, una gran nube de un cuarto de millón de almas. Cada persona tenía un nombre. Cada persona fue amada por alguien. Asegurémonos de que sus muertes no hayan sido en vano.

Tenía solo 13 años cuando los Estados Unidos lanzó la primera bomba atómica sobre mi ciudad, Hiroshima. Todavía recuerdo vívidamente esa mañana. A las 8:15, vi un cegador destello blanco azulado desde la ventana. Recuerdo tener la sensación de flotar en el aire.

Cuando recuperé la conciencia en el silencio y la oscuridad, me encontré atrapada en el edificio derrumbado. Comencé a escuchar los gritos tenues de mis compañeros de clase: "Madre, ayúdame. Dios, ayúdame".

Entonces, de repente, sentí que unas manos me tocaban el hombro izquierdo y escuché a un hombre que decía: "¡No te rindas! ¡Sigue empujando! Estoy tratando de liberarte. ¿Ve la luz que entra por esa abertura? Arrástrese hacia ella tan rápido como usted pueda". Mientras gateaba, las ruinas estaban en llamas. La mayoría de mis compañeros de clase en ese edificio murieron quemados vivos. Vi a mi alrededor una devastación total e inimaginable.

Procesiones de figuras fantasmales barajadas, grotescamente heridos, sangraban, se quemaban, ennegrecían e hinchaban. Partes de sus cuerpos faltaban. La carne y la piel colgaban de sus huesos. Algunos con sus globos oculares colgando en sus manos. Algunos con sus estómagos abiertos de golpe, sus intestinos colgando. El hedor nauseabundo de carne humana quemada llenó el aire.

Con una bomba mi ciudad querida fue borrada. La mayoría de sus residentes eran civiles que fueron incinerados, vaporizados, carbonizados, entre ellos, miembros de mi propia familia y 351 de mis compañeros de clase.

En las semanas, meses y años que siguieron, muchos miles más morirían, a menudo de forma aleatoria y misteriosa, por los efectos retardados de la radiación. Aún hoy, la radiación está matando a los sobrevivientes.

Cada vez que recuerdo a Hiroshima, la primera imagen que me viene a la mente es la de mi sobrino de cuatro años, Eiji, su pequeño cuerpo transformado en un trozo de carne derretido e irreconocible. Siguió suplicando agua con voz débil hasta que su muerte lo liberó de la agonía.

Para mí, él vino a representar a todos los niños inocentes del mundo, amenazados como están en este momento por las armas nucleares. Cada segundo de cada día, las armas nucleares ponen en peligro a todos los que amamos y a todo lo que apreciamos. No debemos tolerar esta locura por más tiempo.

A través de nuestra agonía y la lucha por sobrevivir y reconstruir nuestras vidas desde las cenizas, los *hibakusha* nos convencimos de que debemos advertir al mundo sobre estas armas apocalípticas. Una y otra vez, compartimos nuestros testimonios.

Pero aún algunos se negaron a ver a Hiroshima y Nagasaki como atrocidades, como crímenes de guerra. Aceptaron la propaganda de que estas eran “buenas bombas” que habían acabado con una “guerra justa”. Fue este mito el que llevó a la desastrosa carrera de armas nucleares, una carrera que continúa hasta nuestros días.

Nueve naciones aún amenazan con incinerar ciudades enteras, destruir la vida en la tierra, hacer que nuestro hermoso mundo sea inhabitable para las generaciones futuras. El desarrollo de las armas nucleares no significa la elevación de un país a la grandeza, sino su descenso a las profundidades más oscuras de la depravación. Estas armas no son un mal necesario sino el mal supremo.

El 7 de julio de este año me sentí abrumada por la alegría cuando una gran mayoría de las naciones del mundo votaron a favor de la adopción del Tratado sobre la Prohibición de las Armas Nucleares. Habiendo sido testigo de la humanidad en su peor momento, fui testigo, ese día, de la humanidad en su mejor momento. Nosotros *hibakusha* habíamos estado esperando la prohibición durante setenta y dos años. Que este sea el comienzo del fin de las armas nucleares.

Todos los líderes responsables firmarán este Tratado. Y la historia juzgará duramente a quienes lo rechacen. Sus teorías abstractas ya no cubrirán la realidad

genocida de sus prácticas. La “disuasión” ya no se considerará como un impedimento para el desarme. Ya no viviremos bajo una nube de hongos del miedo.

A los funcionarios de las naciones con armas nucleares, y a sus cómplices bajo el llamado “paraguas nuclear”, les digo esto: escuchen nuestro testimonio. Presten atención a nuestra advertencia. Cada uno de ustedes es parte integral de un sistema de violencia que pone en peligro a la humanidad. Todos debemos estar alerta.

A todos los presidentes y primeros ministros de todas las naciones del mundo, les ruego: únanse a este tratado; erradicar para siempre la amenaza de la aniquilación nuclear.

Cuando era una niña de 13 años, atrapada entre los escombros humeantes, seguí presionando. Seguí moviéndome hacia la luz. Y sobreviví. Nuestra luz ahora es el tratado de prohibición. Para todos en esta sala y para todos los que escuchan en el mundo, repito las palabras que oí en las ruinas de Hiroshima: “¡No te rindas! ¡Sigue empujando! Mira la luz, acércate hacia ella”.

Esta noche, mientras marchamos por las calles de Oslo con antorchas encendidas, sigamos el uno al otro en la oscura noche del terror nuclear. Independientemente de los obstáculos que enfrentemos, nos mantendremos en movimiento y seguiremos presionando y compartiendo esta luz con los demás. Esta es nuestra pasión y compromiso para que nuestro valioso mundo sobreviva.

## ■ Referencias

Bombas atómicas.

Rizzi A. y Torralba C., ICAN, Campaña de abolición de Armas Atómicas. *El País*, 6 de octubre de 2017.

Discurso de presentación del Premio Nobel de la Paz por Berit Reiss Adersen. Oslo, 10 de diciembre de 2017. The Nobel Foundation 2017.

Conferencia Nobel ofrecida por el Premio Nobel de la Paz 2017, ICAN, pronunciada por Beatrice Fihn, Directora Ejecutiva de ICAN. Oslo, 10 de diciembre de 2017. The Nobel Foundation 2017.

Discurso pronunciado por Setsuko Thurlow superviviente de la bomba de Hiroshima. The Nobel Foundation.



## Premio Nobel de Economía 2017

# RICHARD H. THALER RECIBE EL PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA 2017 (SVERIGES RISKBANK PRIZE) “POR SUS CONTRIBUCIONES AL COMPORTAMIENTO EN LA ECONOMÍA”



La medalla del Premio Sveriges Riskbank en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel muestra el emblema de la Academia de Ciencias Sueca de 1815 con las palabras escritas en el borde. El anverso de la medalla muestra la efigie de Alfred Nobel pero en una posición diferente de la que aparece en las medallas de los otros premios Nobel. En el borde están escritas las palabras *“Sveriges Riskbank in memoria de Alfred Nobel 1968”*. El reverso de la medalla muestra los cuernos cruzados del banco que simbolizan la abundancia. El diseño de esta medalla es diferente de las de los otros cinco premios. El nombre del Laureado está grabado en el borde de la medalla.

Rafael Morales-Arce Macías

### ■ Introducción

La Real Academia de Ciencias de Suecia anunció, el pasado 9 de octubre, la concesión del Premio Nobel de Economía 2017 al ciudadano norteamericano **Richard H. Thaler** por sus estudios e investigaciones sobre la influencia de la Psicología en la toma de decisiones económicas y el seguimiento del comportamiento de los mercados. A diferencia de lo habitual en la Economía tradicional, que asume que los agentes tienen un buen acceso a toda la información relacionada con la decisión a adoptar, y pueden proceder correctamente, para Thaler tal comportamiento dista mucho de la realidad.

Thaler, de 72 años, nacido en East Orange, New Jersey, Estados Unidos de América, el 12 de septiembre de 1945, es Profesor en la Booth School of Business de la Universidad de Chicago, habiendo iniciado su carrera académica en 1967, al graduarse en Case Western Reserve University, doctorándose posteriormente, en 1974, en Rochester University, centro en el que inicia su actividad docente, que extiende a la Cornell University hasta 1995, en que accede a la Universidad de Chicago, en la que permanece hasta el momento presente. Igualmente, ha sido Profesor Visitante en Columbia University y colaborador de Robert Schiller en la National Bureau of Economic Research norteamericana.

A lo largo de estos años, Thaler ha tenido influencias de anteriores galardonados, en especial de Daniel Kahneman (Premio Nobel en 2002) que se distinguiera por sus estudios sobre el comportamiento humano en momentos de incertidumbre, estudios que complementó con decisivas pruebas de laboratorio relacionadas con los mecanismos del mercado. El propio Kahneman reconocería que su trabajo de integración fue realmente hecho por Thaler y el grupo de jóvenes economistas que estaban a su alrededor: Herbert Alexander Simmons (que lo fue en 1998), en especial, por la metodología en la adopción de decisiones en las organizaciones económicas, y de Robert Lucas (Nobel en 1995), por lo que consideraba de gran importancia: la Teoría de las Expectativas Racionales en pro del mejor conocimiento de la ciencia económica (1).

## ■ **La posición de la Academia de Ciencias de Suecia**

En la información pública de la concesión del Nobel, el Secretario General de la Academia, Goeran Hansson, destacó la importancia de los cimientos empíricos y conceptuales aportados por Thaler a la denominada “Economía Conductual” (Behavioral Economic), al que se considera pionero en la construcción de puentes entre los análisis psicológicos y económicos en los procesos individuales de decisión, procesos que ayudan al diseño de medidas e instituciones que posibilitan la obtención de mayores beneficios para el conjunto de la sociedad.

Tres cuestiones, añadía, eran necesarias para valorar el alcance de sus investigaciones que no deben olvidar los que toman decisiones: la racionalidad limitada; la consideración de las preferencias sociales y la falta de autocontrol, aspectos que deben estar presentes en el comportamiento del inversor y que afecta a las decisiones y las orientaciones de los mercados. No somos “robots económicos”,

ya que nuestras decisiones se fundamentan en factores irrationales. Valga como ejemplo el acceso a un supermercado: si vamos con hambre, evidentemente, compraremos con mayor intensidad (2).

## ■ **Valoración de analistas económicos**

**Gonzalo Algorri**, Profesor de Marketing del Instituto de Estudios Bursátiles destaca de Thaler que sus tesis no tratan de demostrar que tomamos decisiones irrationales, sino en destacar su previsibilidad, con gran utilidad en las estrategias de mercado. Las empresas se están dando cuenta de que la clave de éxito en las ventas se basa en la empatía con los clientes. Y un ejemplo de ello es que los consumidores no estamos dispuestos a pagar más por la cobertura de nuestras necesidades básicas, pero sí por aquello que más nos emociona. En definitiva, que se ha superado la idea del “*homos oeconomicus*”, hoy insuficiente (2a) y que la Economía Conductual viene orientando un cambio en la forma de entender las relaciones económicas y los movimientos del mercado. Y ello porque la Economía tradicional tiene sus fundamentos en la existencia del denominado “*homo oeconomicus*”, un ser que toma sus decisiones correctas siempre en su propio beneficio, olvidando que, en general, su comportamiento es como “*homo sapiens*”.

Y ello porque en nuestra vida diaria solemos dejar, para más tarde, lo que debería hacerse de manera inmediata; porque, por otra parte, nuestra empatía nos sitúa más cerca de unas personas que de otras; por el peso de la fuerza y la fragilidad del altruismo y la honestidad, sin olvidar los efectos, positivos y negativos, que siempre se derivan en la asignación de incentivos. Y no solo cometemos los errores de manera habitual, sino que incurrimos siempre en los mismos.

Concluye asegurando que el éxito de todo inversor, aparte de superar lo que indicamos en el párrafo precedente, ha de tener capacidad para generar dudas antes de una decisión, buscando la verdad detrás de cualquier tipo de apariencia, sin olvidar que debe transmitir al conjunto de su equipo este talante a lo largo de su vida profesional (3).

**Gimeno**, por su parte, polariza su valoración en el exceso de importancia que otorgamos al presente, renunciando a las ventajas que podrían generar en una decisión más pausada y ponderada. Considera que Thaler ha puesto los cimien-

tos de una ciencia más real, siguiendo la estela que iniciaran los psicólogos israelíes Daniel Kahneman y Amos Tversky, con los que arrancara la denominada Economía del comportamiento. La intervención de Thaler en el Hotel Hilton de San Francisco, el 4 de enero del pasado año, “sobre el pasado, presente y futuro de tal ciencia”, ponía de manifiesto que el mundo está siendo dirigido por personas que no siempre toman las mejores y más racionales decisiones, actuando, simplemente, como humanos que olvidan la evidencia de la multitud de datos de que se dispone sobre el objeto de aquellas, como también, de las posibles reacciones de las personas a las que afectarán las mismas. Insiste Gimeno en el denominado “sesgo del presente”, en virtud del cual damos más peso a los aspectos que condicionan ahora la decisión, que puede satisfacernos hoy, pero que puede hacernos olvidar la obtención efectos más positivos si nuestro pensamiento se pone en el futuro. El entorno, la forma y el orden en que se nos presentan todos los factores que afectan a una decisión se consideran, muchas veces, supuestamente irrelevantes, cuando las evidencias deben estar en el fondo del éxito esperado.

En esta conferencia intervendría, igualmente, Robert Schiller, resaltando la importancia de las observaciones de Thaler en el campo de las decisiones de naturaleza financiera (4).

Se nos recuerdan, igualmente, dos conceptos que a veces olvidamos en estos procesos. Son los relativos a los denominados “costes hundidos” y “coste de oportunidad”. Los primeros, los generados por una firma que toma la decisión de llevar adelante un proyecto e invierte recursos (adquisiciones, asesorías, consumos, etc.) pero que, posteriormente no se lleva a cabo, y tales recursos no se recuperan, con lo que se traslada un efecto negativo a su rentabilidad futura. Thaler considera que deben ser ignorados, esto es, que una inversión no debe verse comprometida por gastos ya realizados y que ya no son recuperables. Los de “oportunidad”, por su parte, se corresponden con un término acuñado en la Economía clásica, como el generado al adoptar una decisión alternativa a la inicialmente considerada, esto es, el de la mejor opción no seleccionada.

**Javier G. Jorrín** centra su valoración en los factores que había destacado el comunicado de la Academia sueca, factores que deberían primar en la preparación de las decisiones de los agentes económicos: la racionalidad limitada; la toma en consideración de las preferencias sociales y la ausencia de autocontrol. Jorrín ya se había hecho popular por sus artículos en *Journal of Economic Perspectives* en

las décadas de los ochenta y noventa cuando se consideraba a Thaler como un “economista disruptor” frente a la posición de la mayor parte de los economistas clásicos, asegurando, que con estas aportaciones, se abría un nuevo campo de la Economía (5).

El doctor **López Bernardo**, CFA Society Spain y Analista de Inversiones en Brightgate Capital, resalta, igualmente, el seguimiento de Thaler a anteriores galardonados con el Nobel, augurando un seguimiento creciente a este tipo de posiciones en la toma de decisiones empresariales e institucionales, de manera particular, en el campo de los mercados financieros.

La esencia de su posición destaca alguno de los “Sesgos cognitivos” que intervienen en las decisiones en la forma en que Thaler los presenta: la contabilidad mental; la falta de autocontrol sin olvidar los efectos de “dotación” y de “encuadre”; el “encasillamiento” de nuestros flujos de liquidez en diferentes cuentas: gastos corrientes; gastos educativos; etc., cuando el dinero es un bien “fungible”, sin olvidar que nuestras decisiones de financiación pasan en muchos casos por tomar dinero prestado cuando contamos con depósitos remunerados a menor tipo de interés. Todo ello, a pesar de que muchos economistas clásicos calificaron tales sesgos como historias entretenidas pero sin relevancia en la vida real.

Considera López Bernardo que, aparte sus contribuciones a la Economía Conductual, Thaler, con su libro “Nudge: Improving...” consiguió una importante adhesión a los fundamentos de su teoría, ya que su propuesta de sistemas de decisión más eficientes propicia dejar elegir a la gente libremente en un marco que permite optar por la mejor. Su principal mensaje gravita en torno a la “opción por defecto”, dado que la gente tiene “sesgos de anclaje” y de “encuadre” cuando toma decisiones y tiende a elegir la “opción por defecto”, cuando esta puede ser relevante para la elección de la opción final, preferible a la inicial, que puede tener una mayor capitalización si se orienta al largo plazo.

Concluye López Bernardo que la Economía Conductual tiene hoy muchos adeptos por su funcionamiento con una gran eficiencia, sin perjuicio que en determinados casos se tomen decisiones fuertemente sesgados sin que el decisor se percate de ello. En todo caso, el reconocimiento a Thaler debe celebrarse porque lucha contra el pensamiento establecido y devuelve a la Economía –a la calificación de “ciencia lúgubre”, como la bautizara Thomas Carlyle– una parte del prestigio perdido desde la gran recesión (6).

**Maqueda**, en su valoración del galardonado, basa su contribución en los tres grandes rasgos que la Academia destacaba sobre la influencia en las decisiones económicas: la racionalidad limitada; la percepción de la equidad y la falta de autocontrol. Añade la importancia que tiene la denominada “contabilidad mental”, que explica cómo el gran público simplifica las decisiones financieras, puesto que dividimos nuestro presupuesto de compra en distintas cuentas mentales separadas entre sí: acceso a ofertas, viajes, compra de libros, etc., olvidando los activos totales que poseemos no el remanente con el que contamos en la cuenta correspondiente. También, la aplicación de la Economía conductual a la solución de problemas de marketing, para lo que aporta tres sencillos ejemplos: el ya comentado de financiar liquidez con créditos al consumo que cuestan más que los rendimientos que obtenemos con activos propios; la jornada del taxista, que trabaja con un objetivo limitado: cuando obtiene lo que desea en el día, termina su jornada, independiente de los ingresos adicionales que habría podido obtener; o cuando decidimos comprar en una oferta fijándonos solo en el porcentaje que se rebaja y no en la cantidad que ello representa.

Nos recuerda también un comportamiento habitual en la mentalidad española: las decisiones de comprar un inmueble en vez de alquilarlo. Y ello por la aplicación del denominado “efecto propiedad” en virtud del cual la gente valora más lo que posee que lo que puede utilizar mediante alquiler. O cuando destaca la llamada “nudge theory” aplicada por las instituciones que “empujan” a los ciudadanos en una determinada dirección (ahorro para la jubilación/ donación de órganos, políticas de medio ambiente, etc.) que suponen un sacrificio hoy en pro de una clara rentabilidad cara al futuro. En definitiva, la Economía conductual es un claro ejemplo del puente entre el análisis económico clásico y el psicológico en la toma de decisiones (7).

**Moisés Martín**, destaca de Thaler su dedicación al examen de los fallos en la racionalidad humana cuando afecta a las decisiones económicas, siguiendo la estela que utilizara J. M. Keynes, el primero que aludió a los denominados “animal spirits” como una especie de comportamiento gregoriano e irracional cuando tomaban este tipo de decisiones. O el también Nobel, Amartya Sen, que nos alertaba de la libertad individual como un ejercicio de construcción de capacidades mucho más amplio que la mera rentabilidad económica, sin olvidar a los ya aludidos Kahneman o Schiller que nos han demostrado las limitaciones de la racionalidad de las decisiones de los agentes económicos.

Y ello porque, como demuestra Thaler, el cerebro humano sobrepondera las pérdidas frente a las ganancias; que somos conservadores por naturaleza aunque la esperanza matemática de dos decisiones nos lleva al mismo resultado. Y eso hay que calificarlo como un “fallo” que afecta a la toma de una decisión económica “escolástica” que supone la racionalidad ilimitada de un agente económico, esto es, que sabe perfectamente lo que le conviene y, además, que es capaz de tomar en consideración las consecuencias presentes y futuras de las decisiones del resto de los actores. Tal comportamiento, aplicado a decisiones macro o de política económica ha estado en el centro de gravedad de algunas de las crisis que se han padecido (8).

**Ortega**, Director de Deusto Business School, en un breve comentario considera que Thaler ha puesto de manifiesto el lado humano de la Economía, ya que no solo elabora modelos matemáticos para mejorar la toma de decisiones, sino que enlaza a esta ciencia con la Psicología, fomentando que las decisiones financieras, en especial, lejos de ser asépticas y racionales, sean también respetuosas con las necesidades humanas (9).

**Juan Ramón Rallo**, Director del Instituto Juan de Mariana, analista de gran predicamento en los medios económicos, se posiciona críticamente contra los trabajos del galardonado. Su artículo “Contra el paternalismo liberal de Richard Thaler” que recogía el diario digital “*El Confidencial*” pone de manifiesto lo siguiente:

- Que cuando el paternalismo liberal se utiliza como excusa para aumentar el intervencionismo estatal, ello no puede interpretarse más que una posible amenaza para el ejercicio de nuestras libertades.
- Estima que la utilización de la Psicología para refinar y enriquecer la caracterización de los “agentes” que actúan dentro de los modelos económicos, olvida que los seres humanos se mueven por instintos o impulsos no siempre confirmados por preferencias egoístas o por la equidad de las diferentes interacciones sociales.
- Igualmente, que sus hallazgos no quedan confirmados en el interior del perímetro de la ciencia económica, en especial, cuando se toman decisiones muy complejas o poco frecuentes y porque los efectos económicos de tales decisiones aparecen a muy largo plazo. Y ello es así, porque los seres humanos no son perfectamente racionales y carecen del necesario autocontrol.

- Thaler sugiere el rediseño del marco decisorio en el que actúan las personas sin entrometerse en el ámbito de su libertad individual, orientándola a elegir bien, más que por la orden por lo que denomina “empuje” (nudge). Por ello ha denominado a su idea como “paternalismo liberal”, o sea, la forma de generar reglas paternalistas, respetuosas, en última instancia, con la libertad individual.
- Por último, Rallo considera que la propuesta sugerida por Thaler debe ser valorada como tal y al margen de los riesgos –lejanos o difusos– que puede acarrear. Y que, consciente o inconscientemente, se está “trampeando” al lector que sigue esta posición (10).

**Javier Rovira**, Profesor de Marketing Estratégico en ESIC, estima que Thaler recuerda a Kahneman como el primero que fue distinguido con el Nobel al defender que los consumidores basaban sus decisiones en estímulos cortoplacistas, sucumbiendo, además, a factores irracionales cuando, por ejemplo, invertimos cantidades importantes, en la adquisición de una vivienda. Por otra parte, en decisiones de Política Económica, aquellas con gran relación con el gasto público –el caso de las pensiones– las autoridades pretenden influir en los ciudadanos a través de factores irracionales, a los que estos responden con “sesgos” que podrían minimizarse mediante la aplicación de la Economía Conductual (10a). En definitiva, si la Economía clásica fue la respuesta a la sociedad industrial en tiempo pasado, hoy es aquella, la Conductual, la que puede contribuir a superar tales irracionalidades.

**Solá**, por su parte, destaca que las investigaciones de Thaler se basan en la posición irracional del ser humano, siendo contrario a la hipótesis de los economistas, que suelen asumir que los individuos persiguen racionalmente sus metas, que tienen un buen acceso a la información; pueden procesarla sin mayores problemas y llevan a la práctica sus decisiones buscando siempre la ganancia personal, olvidando que el “homo oeconomicus” no es tan infalible como la pintan, y pone como ejemplo la práctica habitual del que pide financiación privada a coste superior a los ahorros que ha materializado en un depósito bancario. La naturaleza humana, concluye, influye considerablemente en la toma de decisiones individuales así como en los resultados del mercado (11).

**Jon Azua**, en un escrito bajo el título “Un empujón irresponsable” se refiere a Thaler con el pensamiento puesto en su libro “Misbehaving”, y destaca que el Nobel ha cuestionado siempre las corrientes de economía tradicional “pro-mercado”

y explicado cómo las limitaciones en el raciocinio, las preferencias sociales y la falta de autocontrol afectan a las decisiones individuales y a las esperadas tendencias en los mercados. Y añade, “que de él se espera que la Psicología, Economía Conductual y el impredecible comportamiento de quienes han creído ver en el mercado la necesidad de un rápido cambio –al amparo de un Gobierno desesperado por mantenerse en la inercia del status– que para garantizar su pensamiento único. Nos recuerda que estamos rodeados de “arquitectos de acciones” que son los organizadores del contexto en que se toman decisiones que, generalmente no están orientando al bien común y los intereses legítimos; que manipulan la información; moldean escenarios y contactos ficticios y se instalan en ellos confiando, en que para una mayoría, por comodidad, inacción o voluntad real, la mejor opción es no hacer nada” (12).

**Carbó**, en su artículo “Aprender de las anomalías”, nos recuerda la conveniencia de no olvidar que el comportamiento individual común, por agregación, nos lleva a un impacto natural agregado. Thaler supera la posición de la Economía clásica que considera que las relaciones entre los agentes se basan en supuestos de racionalidad. Y ello suele estar muy lejos de la realidad porque habitualmente, la intuición se confunde con la reflexión. De aquí que en los últimos años haya evolucionado para resolver los problemas de aprendizaje a través de la Economía del Comportamiento, que ya iniciaran, como es sabido, Kahneman y Vernon Smith. Thaler dio forma a estos desafíos combinando, por ejemplo, la Teoría de Juegos con la Experimental, para observando decisiones económicas con resultados anómalos, poderlos interpretar como “paradojas del comportamiento”. Por otra parte, el llamado “juego del ultimátum” ha demostrado que tanto el altruismo como la equidad están presentes en muchas de esas interacciones; o el “de la subasta”, conducen al ganador a un resultado ineficiente.

En otro orden de cosas, Carbó, y a título de ejemplo, rememora cómo Thaler tuvo una breve aparición, junto a Selena Gómez, en el film “La gran apuesta” (The big short), explicando el funcionamiento de los llamados “productos financieros sintéticos” que tanta incidencia tuvieron en el origen de la crisis inmobiliaria norteamericana a partir de 2007, y que se desarrolló como si se tratara de una vulgar partida de póquer (13).

**Rey Biel**, investigador del Departamento de Historia y Economía en la Universidad Autónoma de Barcelona, hizo un breve comentario a sus alumnos sobre la distinción que se otorgaba a Richard Thaler por sus contribuciones a la Economía del

Comportamiento, y que ello no era otra cosa que “una forma modesta de referirnos al que muchos consideramos como el padre de la incorporación de los aspectos psicológicos en el estudio de las decisiones económicas de los individuos” (14).

**Zambrana** Ávila, de la Stocholms School of Economics de la Universidad Mayor de San Andrés, destaca cómo Thaler ha contribuido a la creación de la Economía del Comportamiento, que incorpora análisis más realistas de cómo se comporta la gente cuando toma decisiones económicas. Cuestiona, además, a todos aquellos que de forma racional y egoísta que puede no beneficiarles cuando se considera el largo plazo, algo que extiende tanto a las decisiones individuales como a las de Política Económica de los Estados, especialmente, cuando ante dos opciones se elige siempre la más fácil frente a la más adecuada, olvidando que los decisores son humanos y que factores inicialmente considerados como “irrelevantes” pueden tener una gran influencia posterior (15). Algo que, añadimos nosotros, nos lleva en ocasiones a agravar el impacto de tal decisión y trasladar a los ciudadanos la impresión de que somos “políticamente correctos” pero ineficientes en sumo grado. Aquí podríamos poner como ejemplo representativo la reforma del sistema español de pensiones; del mercado de trabajo o, incluso, de la legislación autonómica o la Constitución, que tantos problemas nos está generando por no haber configurado en su momento la solución adecuada.

## ■ El Premio Nobel en los medios de comunicación

En esta edición de los Premios Nobel no ha existido el tradicional eco en los medios de comunicación y redes sociales. Puede que sea debido a que su divulgación ha coincidido en el tiempo con otros acontecimientos socio-políticos en España seguidos con gran preocupación y atención por la ciudadanía. En cualquier caso, destacamos:

Un aséptico comentario de la redacción de **BBC-Mundo** que se limitaba a informar que Thaler había sido reconocido por sus trabajos sobre la Economía Conductual, herramienta que se aplica al conjunto de decisiones que afectan a los precios del mercado; que generan beneficios y favorecen la óptima asignación de recursos. Añade que Thaler es el autor del bestseller “Nudge” (un pequeño empujón), al referirse al impulso que se necesita para mejorar las decisiones sobre la salud, el dinero o la felicidad, evitando que estas se polaricen en lo más fácil en vez de lo más adecuado (16).

La Agencia **Bloomberg**, relacionada con información relativa a los mercados financieros, en una entrevista a Thaler, manifiesta su extrañeza sobre cómo en el momento actual, con “gran riesgo” para nuestras vidas por la evolución de los indicadores de la bolsa neoyorquina de Wall Street, en máximos, no vengan acompañados de una información solvente de naturaleza económica que justifique su evolución. Por ello, muestra su desconfianza por los compromisos políticos del Presidente del país, polarizados en la reforma fiscal anunciada, que rebajará sustancialmente los impuestos de la renta de personas físicas o de sociedades, y que no hace otra cosa que trasladar la desconfianza a los inversores. Es necesaria mucha humildad cuando se habla de decisiones que afectarán sustancialmente a aquellos mercados de valores (17). Suponemos que quiere ponerse de manifiesto que tales decisiones deberían adoptarse con menos ligereza y, posiblemente, tomando en cuenta las limitaciones por las que el Nobel ha sido reconocido este año.

El diario económico **CINCO DÍAS**, destaca que el Premio Nobel Thaler tiene mucho que ver con esos “espíritus animales” a los que aludieron en el pasado John Maynard Keynes y Jack London, cuando vaticinaban que no todo se basaba en la matemática o la racionalidad y que, en ocasiones, los sentimientos y emociones protagonizan la estructura de las decisiones; hecho que otorga una visión más humana a la Economía, sin olvidar que la perspectiva conductual puede comportar, incluso, una componente de irracionalidad (18).

La redacción de la cadena de radio **COPE**, al anunciar la concesión del Nobel a Thaler destaca sus esfuerzos en pro de la integración de la Economía y la Psicología, explorando cómo las limitaciones en el raciocinio, las preferencias sociales y la falta de autocontrol repercuten en la estructura de las decisiones individuales y en las tendencias del mercado. Thaler ha sido un pionero en este ámbito, creando un “puente” entre los análisis económicos y psicológicos en los procesos individuales de decisión (19).

El **UNIVERSAL** mexicano, por su parte, pone de ejemplo a Thaler como un técnico notable en el estudio de las finanzas conductuales, o sea, en la investigación de tendencias humanas y sociales en el campo de las decisiones económicas (20).

Un comunicado de la Escuela de Periodismo de **EL TIEMPO**, de Colombia, destaca cómo la Academia de Ciencias de Suecia ha reconocido de Thaler tres supuestos fundamentales que repercuten usualmente en la toma de decisiones: la racionalidad limitada; la percepción de la justicia y la falta de control. De ahí la

importancia que la Economía Conductual trate de superar estas deficiencias. El galardonado nos recuerda que los individuos separan en sus mentes diferentes especies de estados económicos; que ignoran el verdadero valor del denominado “efecto propiedad”, efecto que relaciona el sentido de la pérdida con la valoración que adjudican las personas a aquello que poseen, y ello explica que el sentimiento negativo de una pérdida sea más fuerte que el positivo cuando, al final, se obtiene una ganancia exactamente igual. Según este principio, las pérdidas y ganancias serían relativas al punto de referencia con el que cada persona establece las comparaciones, siendo diferente la forma de actuar, por ejemplo, cuando se decide en un casino, que ante las promociones de temporada en los grandes almacenes (21).

El digital **LA NACIÓN**, destaca que Thaler ha sido reconocido por sus investigaciones polarizadas en entender el comportamiento de la persona que toma decisiones, habitualmente con una componente de irracionalidad, que él trata de neutralizar con los parámetros de la Psicología aplicada a la Economía, y así, tales decisiones sean más realistas y adecuadas (22).

La sección Dinero de **LA VANGUARDIA**, califica a Thaler como un pionero de la ayuda a la mejor comprensión de la psicología de las decisiones económicas. En su obra **NUUDGE...** se centraba en la forma en que los Gobiernos podían ayudar a tomar decisiones a los ciudadanos sin coacción alguna. A título de ejemplo, nos recuerda Thaler también cómo el ex premier Ministro británico, David Cameron, tenía una unidad especial de “nudge” para la ayuda a los ciudadanos a adoptar buenas decisiones y, en otro lugar, el propio Sunstein, coautor de la obra con Thaler, forma parte en la actualidad de la Oficina de Información y Regulación de la Casa Blanca. Por su parte, un miembro del Comité del Nobel, Peter Gardenfors, considera que Thaler ha conseguido hacer la economía más humana desde la creación de la Economía Conductual (23).

**Laura Marcos**, en la cadena de radio SER, destaca la comprobación que hizo Thaler entre sus alumnos, que no se comportaban como economistas sofisticados que toman decisiones racionales sino como humanos, es decir, se comportaban mal, que decidían con su dinero olvidando que las emociones pulsaban cuando ahorraban o invertían, con resultados no siempre favorables a sus intereses. Por ello publicó **MISBEHAVING** (Portándose mal), una buena introducción a la Economía Conductual. Por otra parte, Thaler publicó en *Journal of Economics Perspectives* una columna titulada **ANOMALÍAS**, algunas de las cuales de fácil

comprensión (¿Por qué dejamos propinas en los restaurantes cuando sabemos que no vamos a volver? o, ¿por qué pagamos con una tarjeta de débito, que nos cobra mayor interés que el rendimiento que tenemos de un depósito?). Finalmente, nos recuerda cómo desde 2007 se ha convertido en un defensor, tras la crisis financiera, de una Economía inexacta y didáctica, para la cual no hace falta ser Warren Buffett para invertir con éxito (24).

Para la página **Cronista.com** Thaler es reconocido por sus investigaciones sobre las consecuencias de los mecanismos psicológicos y sociales en las decisiones de consumidores e inversores. Se le considera, además, un notable experto en finanzas conductuales, es decir, en la investigación de las tendencias humanas y sociales para comprender mejor la toma de decisiones económicas, tanto en el campo de las tareas de investigación privada como en las de Política Económica de los Estados (25).

Por su parte, la redacción de **Radio Televisión Española**, al anunciar la concesión del Nobel destaca cómo Thaler demuestra como determinadas características humanas: la racionalidad; las preferencias sociales y la falta de autocontrol afectan sistemáticamente a las decisiones individuales y a las orientaciones en los mercados. Desde hace más de cuarenta años, ha jugado un papel crucial en el desarrollo de la Economía del comportamiento. Añade cómo el “miedo a las pérdidas” puede explicar cómo algunos individuos otorgan mayor valor a una casa, si ellos son los propietarios, que si no la poseyeran. Y que ha proporcionado a los economistas una mayor riqueza con herramientas analíticas y experimentales para comprender y predecir el comportamiento humano, concluyendo, a título anecdótico, con una recomendación al actual Presidente norteamericano: que vea el film “La gran apuesta”, a la que nos referimos anteriormente, de la que fue actor ocasional el propio Thaler (26).

## ■ **Reflexión final**

Como es conocido, el Premio Nobel de Economía no estaba incluido en la relación que formula Alfred Nobel al crear la Fundación que financiara los mismos. Por ello, es el Banco de Suecia la institución que asigna una dotación de nueve millones de coronas suecas (unos 930.000 euros) para este fin. Se entregan el 10 de diciembre de 2017 en una ceremonia solemne que preside el Rey de Suecia. Este año se corresponde con la cuadragésima novena edición y la tradición

sostiene que el galardonado habitual suele ser un varón, norteamericano, en la década de edad de los sesenta/setenta y de determinados centros de investigación. Los economistas **Offer**, Profesor Emérito de Historia en Oxford, y **Söderberg**, investigador en el Departamento de Historia Económica en la Universidad sueca de Uppsala, sostienen que de los 78 premiados hasta hoy, más de la tercera parte están vinculados a la Escuela de Chicago que protagonizara el también reconocido Milton Friedman (27).

Y alguno de los seguidores de los Premios ya ha formulado un aventurado pronóstico de lo que ocurrirá el próximo año. Moisés Martín sugiere que su apuesta sería por Esther Duflo, que acumula muchos años aplicando la Economía del Comportamiento a la búsqueda de soluciones a los problemas de desarrollo económico y lucha contra la pobreza. Sería, en tal caso, la segunda mujer (tras la fallecida Elinor Ostrom, que lo obtuviera en 2009) en acceder a este importante galardón (28).

En todo caso, Thaler era uno de los favoritos para esta edición. Respondía al perfil habitual de estos galardones: varón, norteamericano, con dilatada carrera profesional; edad media de 67 años, y que cuando conoció la concesión, reaccionó con alegría y desenfado al manifestar, en contra de la esencia de sus investigaciones, que el importe del galardón “lo gastaría tan irracionalmente como le fuera posible”.

La propia Fundación Ramón Areces, con el propósito de realzar el significado y la importancia del Nobel, programó unas jornadas entre los días 27 y 29 de noviembre de 2017 bajo el título de “Replanteando la economía: enfoques conceptuales y psicológicos”, con la participación del profesor **Luis Alberto Franco**, docente de Ciencias del Management en la Universidad de Loughborough, especialista en el tratamiento de los conflictos directivos asociados y Dinámica de Grupos, que se referirá a los denominados “marco” y “encuadre” en las perspectivas cognitiva e interaccional, con sus principios y herramientas; de su colega, **Matteo M. Galizzi**, profesor en la London School of Economics and Political Science, experimentado especialista en la Economía Conductual, en particular, las áreas del mercado de trabajo y las ciencias de la salud, así como las preferencias sociales para la toma de decisiones estratégicas, sin olvidar las llamadas preferencias temporales y las anomalías del comportamiento, y, finalmente, **Gilberto Montibeller**, igualmente de dicho centro docente, especializado en el uso integrado de la planificación de escenarios y el análisis de decisiones multimedia (MCDA), una

poderosa combinación para proporcionar criterios a ejecutivos de empresas e instituciones, tendentes a la mejora de las decisiones con objetivos contradictorios y bajo incertidumbre (29). Todo ello con el propósito de poner a disposición de un selecto grupo de decisores las herramientas de la Economía Conductual, que en los últimos años se han ido aplicando: los modelos de decisión intertemporal con sesgos; los de preferencias sociales; de racionalidad limitada; de puntos de referencia, etc., que ya reconocía el Comité del Nobel al valorar las aportaciones de Thaler, sin olvidar que en el pasado más remoto, por ejemplo, en la “Teoría de los Sentimientos Morales” de Adam Smith, o en las más próximas debidas a John Maynard Keynes o Wilfredo Pareto no se elude la consideración a los aspectos humanos que condicionan la toma de decisiones económicas, que, igualmente, nos recordaron varios de los últimos Premios Nobel de Economía, tales como Herbert A. Simmons (1978), Gary Becker (1992), Amartya Sen (1998), Daniel Kahneman con Vernon Smith (2002) y Robert J. Schiller (2013).

En cualquier caso, y sin menospreciar la importante aportación de Thaler, los Manuales de Economía que se utilizaban en las universidades españolas seguían con interés las aportaciones de Richard G. Lipsey, que reconocía la tradición del análisis económico al estimar que el precio de un bien dependía de: el precio del mismo; el precio de los bienes complementarios o sustitutivos; el nivel de renta del demandante y la influencia de los **gustos o inclinaciones del consumidor** (30), características, todas ellas, que hoy son de utilización generalizada en el análisis del desarrollo económico y que se acercan a los planteamientos de la Economía Conductual. Y todo ello no presupone que la Economía clásica sea incorrecta. Thaler piensa que puede mejorarse pues no siempre adoptamos, como se ha señalado en páginas anteriores, la mejor decisión por problemas de autocontrol o de toma en consideración de opiniones y creencias que pueden estar sesgadas. No debe olvidarse que muchos planteamientos de aquella se basan en la existencia de “mercados perfectos”, en que “nada es gratis” y que el precio de un activo se corresponde con su valor intrínseco. Si ello fuese cierto no existirían las burbujas que tantas veces comprobamos en la realidad económica y financiera, que ponen de manifiesto cómo las peores repercusiones de las mismas se trasladan con menor intensidad a los que decidieron con un buen método, con previsión y abundancia de información, pensando en el futuro y no solo en el presente.

Por otra parte, Thaler considera que tomar medidas sin tener evidencias de cómo funcionarán no deja de ser una temeridad. De aquí la conveniencia de utilizar experimentos de campo, en pequeña escala, que nos permitan contrastar y

perfeccionar, en su caso, el diseño de tales medidas. Y, además, “incentivando” a la gente para que se anime a tomar decisiones, poniéndoselo fácil. Y en relación a los llamados “costes hundidos”, que la Economía clásica considera no deberían formar parte de ulteriores decisiones de inversión, o los problemas de “encuadre”, estima que estarían mejor afrontados con las técnicas de la Economía Conductual. Los últimos descubrimientos en las Neurociencias demuestran que gran parte de nuestras decisiones (entre el 85%-95%) se toman en una parte del cerebro que opera de forma no-consciente y ello coincide con los fundamentos de las teorías del Nobel (31) que estamos comentando.

Otros analistas se refieren, igualmente, a la posición de los seres humanos que no siguen el criterio racional de “mirar al futuro” y aceptar que “lo pasado, pasado está” incurriendo en la falacia del “coste hundido”. Y para ello, se pone un ejemplo extraído de una publicación relativa a ellos, referida a la decisión de asistir o no a una sesión de teatro, sesión que aplica la política de discriminación de precios según la fecha de adquisición de la localidad, concluyendo que, en el fondo, la decisión se toma en función del potencial disfrute de acudir del titular de la misma. Por otra parte, el autor aplica este principio al proceso de independencia de la Comunidad Autónoma de Cataluña: la sentencia de prisión que pesa sobre un grupo de dirigentes puede tener la consideración de “coste hundido”, la cárcel sufrida, que les obligará a rentabilizar. Para ello, no dejarán de invocar este “perjuicio” que se les ha originado, que lesiona su derecho de participación política y, también, el derecho de los ciudadanos a elegirlos. Tales afirmaciones fueron recogidas en las redes sociales de desigual manera: para unos, no estimaron que ello fuera un problema de “coste hundido” porque los independentistas se han sentido heridos por este castigo y ello les anima a seguir peleando. Otros, por el contrario, sugieren que dichos costes lo serían durante un reducido periodo de tiempo, unos seis meses, hecho que no tendría la mayor importancia (32). Esperamos expectantes la calificación que habríamos de dar a este proceso una vez concluya, si es que lo hace.

En esta línea, y en referencia a un mercado tan importante como el mercado de trabajo, en el que laboran diecinueve millones de españoles, cuando se enjuicia la reforma laboral realizada a partir del año 2012 se llega a una importante conclusión: “que la valoración de la misma no se basa en hechos objetivos, sino que se apela a emociones, creencias o deseos” (33) que pone de manifiesto cómo la Economía Conductual tiene aquí un ejemplo más de la forma en que se toman decisiones de tanta trascendencia para la vida del país.

Con motivo de la entrega de los Premios, los medios de comunicación recogían algunas opiniones de los galardonados, en particular del Nobel de Economía, Richard Thaler, en relación a cuestiones relativas a la situación socio-política de Cataluña. Estima que la comunidad autónoma debería haberse preguntado previamente si, “dado lo que podría lograr, ¿valía la pena?” plantearse ser un país independiente sin valorar lo que habría de pagar por conseguirlo. Se mostraba contrario, por otra parte, a celebrar referéndums sobre cualquier cuestión, en especial, porque estas figuras no siempre son útiles para resolver asuntos de tanta trascendencia, alusiones que podrían trasladarse tanto a Cataluña como al Reino Unido, que ahora, con el Brexit, trata de resolver un importante y decisivo contencioso con la Unión Europea (34), contencioso que nos muestra una opinión pública muy dividida y presagia el alto coste que traerá consigo la escisión.

#### **Richard H. Thaler**



Finalmente, y en cualquier caso, la concesión del Premio Nobel de Economía 2017 ha tenido menor difusión en los medios españoles que en años anteriores. La razón podría estribar en la superposición en el tiempo de acontecimientos como la crisis en la comunidad autónoma de Cataluña y los problemas socioeconómicos conexos, sin olvidar que al tratarse de una cuestión básicamente microeconómica, siempre tiene menor repercusión que las tradicionales de Política Económica, aunque ello no debe minusvalorar, a nuestro juicio, las excelentes aportaciones que en este caso nos ha hecho Richard H. Thaler y así lo ha acreditado el reconocimiento de la Academia sueca.

#### **■ Publicaciones de Richard H. Thaler**

Richard Thaler se ha prodigado en los medios de difusión con sus publicaciones relativas a los trabajos sobre la Economía Conductual, entre los que encontramos los siguientes:

- “The Psychology of Choice and the Assumptions of Economics”, aparecida en 1987, en la que sostiene que la Economía Neoclásica se basa en que los modelos utilizados habitualmente se caracterizan por su racionalidad al

optimizar el comportamiento, algo que no toma en consideración todos los factores que intervienen en la toma de decisiones, lo que sí hace la Economía Conductual, con las importantes aportaciones de la Psicología a la mejora de la racionalidad de la decisión.

- “Quasi Rational Economics”, publicada en 1991 por New York: Russell Sage Foundation, en la que vuelve a criticar las deficiencias del análisis económico tradicional, que supone que los humanos actúan racionalmente en sus propios intereses sin tener en cuenta factores humanos fundamentales que están habitualmente presentes en las decisiones.
- “Advances in Behavioral Finance”, editada por New York: Russell Sage Foundation en 1993, con un segundo volumen –Roundtable series in behavioral economics– editado por Princeton University Press en 2005.
- “The Winner’s Course: Paradoxes and Anomalies in Economic Life”, que se publica en Princeton University Press en 1992, detallando algunas de las más significativas que sirvan como ejemplo para el desarrollo de su Economía Conductual.
- “Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth and Happiness”, que aparece en 2008 y compartida con Cass R. Sunstein, uno de los libros más vendidos, en el que se explica cómo los humanos cometen errores al tomar decisiones en su vida diaria. Por ello, unos pequeños “empujoncitos” (nudges) podrían compensar los efectos de tales errores, promoviendo el diseño de métodos más eficientes para decidir bajo lo que denomina “paternalismo libertario”, o sea, para dejar a las personas que diseñen sus opciones tendentes a conseguir la mejor elección. Hay una segunda edición de New York: Penguin que se edita en 2009.
- “Misbehaving: The making of behavioral economics”, compartida con Cass que se edita en 2015, por New York: W.W. Norton & Company, calificando como “malas” las decisiones adoptadas sin contar las limitaciones del individuo medio al tomar decisiones económicas.

Y otras publicaciones en medios de la mayor solvencia que pueden consultarse en cualquier enciclopedia o página del autor, y que trascienden la limitación de este trabajo.

## ■ Bibliografía

- (1) The Sveriges Riksbank Prize in Economics Sciences in Memory of Alfred Nobel. Comunicado del 9 de octubre de 2017.
- (2) Comparecencia del Secretario General de la Academia de Ciencias de Suecia. Estocolmo, 9 octubre 2017.
- (2a) Algorri, Gonzalo. “Lecciones irrationales para entender la economía”. Ginés, Guillermo. *ABC Empresa*. Madrid, 29 octubre 2017. Páginas 14-15.
- (3) Delgado, Jorge. “Cómo aprovechar las aportaciones del nuevo Nobel de Economía”. *El Mundo digital*. Madrid, 15 octubre 2017.
- (4) Gimeno, Rebeca. “Le damos demasiada importancia al presente (y eso es un error): Y este Nobel explica por qué”. Periódico digital *5 Días*. Madrid, 13 octubre 2017.
- (5) Jorrin G. Javier. Comentario en el diario digital *El Confidencial*. Madrid, 9 octubre 2017.
- (6) López Bernardo, J. “Richard Thaler: un gran “empujoncito” para la ciencia económica”. Diario digital *El Confidencial*. Madrid, 14 octubre 2017.
- (7) Maqueda, A. Comentario en el diario *El País digital*. Madrid, 9 octubre 2017.
- (8) Moisés Martín, J. “Thaler, un Nobel contra el “homus oeconomicus””. *El diario digital*. Madrid, 9 octubre 2017.
- (9) Ortega, I. Diario *5 Días*-Reuters. Madrid, 10 octubre 2017.
- (10) Rallo, J. R. “Contra el paternalismo liberal de Richard Taller”. Diario digital *El Confidencial*. Madrid, 13 octubre 2017.
- (10a) Rovira, Javier. “Lecciones irrationales para entender la economía”. Ginés, Guillermo. *ABC Empresa*. Madrid, 29 octubre 2017. Páginas 14-15.

- (11) Solé, Miguel. “La pregunta del nuevo Nobel de Economía que demuestra que no entiendes el dinero”. Diario económico *El Confidencial*. Madrid, 11 de octubre de 2017.
- (12) Azúa, Jon. “Un empujón irresponsable”. Periódico *DEIA*. Bilbao. 15 octubre 2017.
- (13) Carbó Valverde, Santiago. “Aprender de las anomalías”. *El País*. Madrid, 10 octubre 2017.
- (14) Rey Biel, Pedro. Investigador del Departamento de Historia y Economía. Universidad Autónoma de Barcelona. @pedroreybiel. Barcelona 9 octubre 2017.
- (15) Zambrana Ávila Carlos. “Richard Thaler, Premio Nobel Economía 2017. 16 octubre de 2017.
- (16) BBC-Mundo. Comentario de la Redacción. Madrid, 9 octubre de 2017.
- (17) Entrevista a Richard H. Thaler. Bloomberg. *El Confidencial*. Madrid, 12 de octubre 2017.
- (18) 5 Días. Tribuna. Ortega, I, “Richard Thaler, el lado humano de la Economía”. Madrid, 10 octubre 2017.
- (19) Cadena Cope. Redacción. Madrid, 10 octubre 2017.
- (20) [www.eluniversal.com.mex](http://www.eluniversal.com.mex). 9 de octubre de 2017.
- (21) Escuela de Periodismo. Periódico *El Tiempo*. Bogotá, Colombia. 9 octubre de 2017.
- (22) La Nacion.com. “Richard H. Thaler, elegido por entender el comportamiento del hombre”. 9 octubre 2017.
- (23) Sección Dinero. *La Vanguardia*. Barcelona, 9 octubre 2017.
- (24) Marcos, Laura. Cadena SER. Madrid, 9 octubre de 2017.

- (25) “El Premio Nobel de Economía 2017: Richard H. Thaler”. Cronista.com. 9 octubre 2017.
- (26) Redacción Radio Televisión Española. Madrid, 9 octubre 2017.
- (27) Avner Offer y Gabriel Söderberg: “El factor Nobel: The Prize in Economics, Social Democracy and the Market Turn”. Princeton University Press. 2016.
- (28) Moisés Martín, “Thaler, un Nobel contra el “homus oeconomicus”. *El diario digital*. Madrid, 9 octubre 2017.
- (29) Franco, Luis Alberto; Galizzi, Marcos M. y Montibeller, Gilberto. Clases magistrales sobre la Economía Conductual organizada por la Fundación Ramón Areces, en colaboración con la London School of Economics y Longbrough University. Madrid, 27, 28 y 29 de noviembre de 2017.
- (30) Lipsey, Richard G. “Principios de economía positiva”. Editorial Vicens Vives. Barcelona y Madrid. 1969. Artículo de Morales-Arce, R. Recogido en “Premios Nobel 2015: Comentarios a sus actividades y descubrimientos”. Coordinado por Federico Mayor Zaragoza y María Cascales Angosto. Fundación Ramón Areces. Madrid, 2016. Página 197.
- (31) Morales García, T. “Cinco consejos del Premio Nobel de Economía 2017 para ahorrar dinero”. Posición de Martínez Ribes, Luis. Profesor de Marketing de ESADE y Especialista en Neuromarketing. Madrid, 5 noviembre 2017
- (32) Conthe, M. “Los costes hundidos del proceso”. Diario *Expansión*. Madrid, 8 de noviembre 2017.
- (33) Lahera Forteza, J. Profesor de Derecho del Trabajo. Universidad Complutense. “La posverdad en la reforma laboral”. Diario *5 Días*. Madrid, 7 de noviembre de 2017. Página 6.
- (34) Declaraciones de Richard Thaler. EFE. Estocolmo, 8 diciembre 2017. Recogido por *La Vanguardia*. Barcelona, 11 diciembre 2017.
- (35) Información recogida de la comunicación institucional de la Academia de Ciencias de Suecia sobre los Premios Nobel. Morales-Arce, R., autor del

artículo sobre el Premio Nobel de Economía 2016. “Comentarios a sus actividades y descubrimientos. Obra coordinada por Mayor Zaragoza, Federico y Cascales Angosto, María. Fundación Ramón Areces. Madrid, 2017.



## ■ Galardonados con el Premio Nobel de Economía 1969-2017 (35)

Como es sabido, el año 1969 marcó el inicio del otorgamiento de los Premios Nobel de Economía. Desde su creación, el Premio se ha concedido tanto a personas a título individual como a organizaciones. Hasta el momento, Estados Unidos, seguido de Reino Unido y Alemania, son los países con mayor número de reconocimientos. España ha obtenido, en los campos de la Literatura y Medicina, hasta siete de ellos.

En el campo de la Economía los galardones han recaído en las personas que se relacionan seguidamente:

- 1969: **Bagnar Frisch** (Noruega) y **Jan Tinbergen** (Holanda), por su contribución al desarrollo y aplicación de métodos dinámicos al análisis de procesos económicos.
- 1970: **Paul A. Samuelson** (USA), por el desarrollo de Teoría Económica, estática y dinámica, para su aplicación al análisis económico.
- 1971: **Simmons Kuznets** (USA), por su interpretación empírica del crecimiento económico, que posibilitó enlazar estructuras económicas y procesos de desarrollo.
- 1972: **John Hicks** (UK) y **Kenneth Arrow** (USA), por su contribución a la Teoría del Equilibrio y Bienestar.
- 1973: **Wassily Leontief** (USA), por el desarrollo tablas Input-Output y sus aplicaciones a la solución de problemas económicos.
- 1974: **Gunnar Myrdal** (Suecia) y **Friedrich V. Hayek** (Austria), por sus investigaciones en teoría monetaria y sus fluctuaciones. Y por sus análisis sobre la independencia de los fenómenos económicos, sociales e institucionales.
- 1975: **Leónidas Kantorovich** (URSS) y **Tjalling Koopmans** (Holanda), por su contribución a la teoría de la asignación óptima de recursos.

- 1976: **Milton Friedman** (USA), por sus estudios sobre el análisis del consumo y el dinero, así como por su demostración acerca de la complejidad de la estabilidad política.
- 1977: **James Meade** (UK) y **Bertin Ohlin** (Suecia), por sus contribuciones al desarrollo de la Teoría del Comercio Internacional.
- 1978: **Herbert A. Simmons** (USA), por sus investigaciones en los procesos de adopción de decisiones en las organizaciones económicas.
- 1979: **Theodore Schultz** (USA) y **Arthur Lewis** (UK), por la investigación y el desarrollo económico referido a los problemas que surgen en áreas geográficas diferentes.
- 1980: **Lawrence Klein** (USA), por la creación de modelos económicos y sus aplicaciones al análisis de las fluctuaciones en la política económica.
- 1981: **James Tobin** (USA), por sus análisis de los mercados financieros y sus relaciones con variables de producción, empleo y precios.
- 1982: **George Stigler** (USA), por los estudios de estructuras industriales que funcionan como mercados y las causas y efectos de la regulación pública.
- 1983: **Gerard Debreu** (USA), por sus aportaciones de nuevos métodos analíticos a la Teoría Económica y la reformulación de la teoría del equilibrio general.
- 1984: **Richard Stone** (UK), por su contribución al desarrollo de los sistemas de cuentas nacionales de tanta utilidad para el análisis de las estructuras económicas.
- 1985: **Franco Modigliani** (USA), por sus análisis de los procesos de ahorro en los mercados financieros.
- 1986: **James M. Buchanan** (USA), por el desarrollo de bases contractuales y constitucionales que fundamentan los procesos de decisión políticas y económicas.
- 1987: **Robert M. Solow** (USA), por su contribución al desarrollo de la teoría del crecimiento económico.

- 1988: **Maurice Allais** (Francia), por su contribución a la teoría de los mercados y la utilización eficiente de los recursos que en estos se negocian.
- 1989: **Trygve Haavelmo** (Noruega), aportaciones al desarrollo de la Econometría y el estudio de estructuras económicas simultáneas.
- 1990: **Harry Markowitz, Merton Miller** y **William Sharpe** (USA), por sus trabajos relativos a los fundamentos de la Teoría Financiera.
- 1991: **Ronald Coase** (UK), por sus aportaciones en la teoría de los costes de transacción y los derechos de propiedad en el funcionamiento de la estructura institucional de la economía.
- 1992: **Gary Becker** (USA), por su contribución al análisis macroeconómico en el campo del comportamiento humano en las instituciones y su relación con el funcionamiento de la economía.
- 1993: **Douglas North y Robert Fogel** (USA), por sus estudios de Historia Económica a través de la aplicación de teorías y métodos cuantitativos que explican los cambios económicos e institucionales.
- 1994: **John Harsany** (Hungría) **John Forbes Nash** (USA) y **Reinhard Selten** (Alemania), por sus estudios sobre el equilibrio en la teoría de juegos no cooperativos.
- 1995: **Robert Lucas** (USA), por el desarrollo de la teoría de las expectativas racionales en pro del mejor conocimiento de la política económica.
- 1996: **James E. Mirrlees** (UK) y **William Vickrey** (Canadá), por sus estudios sobre la teoría de los incentivos bajo información asimétrica.
- 1997: **Robert C. Merton** (USA) y **Myron S. Scholes** (Canadá), por su aportación al perfeccionamiento en los cálculos relativos a instrumentos derivados.
- 1998: **Amartya Sen** (India), por su contribución al análisis de indicadores de desarrollo humano (IDH).

- 1999: **Robert A. Mundell** (Canadá), por sus análisis de política fiscal y monetaria bajo distintos regímenes de tipos de cambio, y las áreas monetarias óptimas.
- 2000: **James J. Heckman y Daniel L. McFadden** (USA), por el diseño de métodos para la mejora del conocimiento del comportamiento económico de individuos y familias.
- 2001: **George A. Akerlof, Michael Spence y Joseph E. Stiglitz** (USA), por sus investigaciones sobre las teorías de mercados de información asimétrica.
- 2002: **Daniel Kahneman** (Israel-USA) y **Vernon L. Smith** (USA), por sus estudios integradores de aspectos psicológicos en el análisis del comportamiento humano en momentos de incertidumbre, con pruebas de laboratorio, y su relación con mecanismos alternativos del mercado.
- 2003: **Robert F. Engle** (USA) y **Clive W.J. Granger** (UK), por sus aportaciones en el campo de las series temporales que permitan la incorporación de la influencia de elementos no previsibles.
- 2004: **Finn E. Kydland** (Noruega) y **Edward C. Prescott** (USA), por sus contribuciones a la Teoría Macroeconómica dinámica.
- 2005: **Robert J. Aumann** (Israel-USA) y **Thomas C. Schelling** (USA), por sus contribuciones al estudio de actitudes de conflicto/cooperación a través de análisis basados en la teoría de juegos.
- 2006: **Edmund S. Phelps** (USA), por sus análisis sobre interrelaciones entre factores de producción, desempleo e inflación.
- 2007: **Leonid Hurwicz, Eric S. Maskin y Roger B. Myerson** (USA), por sentar las bases de la teoría del diseño de mecanismos para determinar si los mercados trabajan de forma efectiva.
- 2008: **Paul Krugman** (USA), por su contribución al análisis de patrones comerciales y localización de la actividad económica.

- 2009: **Elinor Ostrom y Oliver E. Williamson** (USA), por sus estudios sobre el papel de la empresa en los procesos de resolución de conflictos, así como por sus análisis de las estructuras de gobierno corporativo y sus limitaciones.
- 2010: **Peter A. Diamond** (USA), **Dale T. Mortensen** (USA) y **Cristopher Antoniou Pissarides** (Grecia-Chipre), por sus estudios sobre el desempleo y el mercado de trabajo. Sobre las fricciones entre oferta y demanda de empleo así como los problemas para su creación. Y por el análisis de las prestaciones generosas en los subsidios de desempleo.
- 2011: **Thomas J. Sargent** y **Cristopher A. Sims** (USA), por sus investigaciones sobre los efectos de las medidas públicas (ingresos/gastos/tipos de interés) sobre el desarrollo económico.
- 2012: **Alvin E. Roth** y **Lloyd Shapley** (USA), por sus estudios de la teoría de las asignaciones estables y el diseño de los mercados. Y por sus aplicaciones, a través de un algoritmo especial, para combinar, de forma racional, oferta y demanda de bienes y servicios (ingeniería económica).
- 2013: **Eugene Fama, Lars Peter Hansen** y **Robert J. Shiller** (USA), por sus contribuciones al análisis empírico de los precios y sus efectos sobre la valoración de activos en general y financieros, en particular.
- 2014: **Jean Tirole** (Francia), por su contribución al estudio de la regulación de los mercados; finanzas corporativas y temas conexos al comportamiento de las grandes organizaciones.
- 2015: **Angus Deaton** (Reino Unido-USA), por sus investigaciones sobre aspectos básicos de la Economía: consumo, demanda, pobreza y bienestar.
- 2016: **Oliver Hart** (UK) y **Bengt Holmström** (Finlandia), por sus trabajos relativos a la Teoría de los Contratos y los “derechos de control” que de estos se derivan.
- 2017: **Richard H. Thaler** (USA), por sus estudios sobre la influencia de la Psicología en las decisiones económicas y el comportamiento del mercado.

Calle Vitruvio, 5  
28006 Madrid. España  
[www.fundacionareces.es](http://www.fundacionareces.es)  
[www.fundacionareces.tv](http://www.fundacionareces.tv)

