

María Cascales Angosto
Federico Mayor Zaragoza
José Miguel Ortiz Melón
COORDINADORES

Premios Nobel 2019

Comentarios a sus actividades y descubrimientos



FISIOLOGÍA o MEDICINA: William G. Kaelin Jr., Gregg L. Semenza y Sir Peter J. Ratcliffe

FÍSICA: James Peebles, Michel Mayor y Didier Queloz

QUÍMICA: John B. Goodenough, Stanley Whittingham, Akira Yoshino

LITERATURA 2018: Olga Tokarczuk / **LITERATURA 2019:** Peter Handke

PAZ: Abiy Ahmed Ali

ECONOMÍA: Abhijit Banerjee, Esther Duflo y Michael Kremer



FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES

Premios Nobel
2019

Federico Mayor Zaragoza
María Cascales Angosto
José Miguel Ortiz Melón
Coordinadores

Premios Nobel 2019



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: cerasa@cerasa.es

Web: www.cerasa.es

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

www.fundacionareces.es

Diseño de cubierta: Omnívoros. Brand Desing & Business Communication

Depósito legal: M-17408-2020

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35–37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
Agradecimientos	7
Ponentes	9
Prólogo, <i>Federico Mayor Zaragoza, María Cascales Angosto y José Miguel Ortiz Melón</i>	11
Información sobre la entrega de los Premios Nobel 2019, <i>Federico Mayor Zaragoza, María Cascales Angosto y José Miguel Ortiz Melón</i>	23
Premio Nobel de Fisiología o Medicina, <i>José Miguel Ortiz Melón</i>	29
Premio Nobel de Física, <i>Rafael Bachiller García</i>	61
Premio Nobel de Química, <i>Inmaculada Ortiz Uribe</i>	99
Premio Nobel de Literatura 2018, <i>Antonio González Bueno</i>	129
Premio Nobel de Literatura 2019, <i>Antonio González Bueno</i>	145
Premio Nobel de la Paz, <i>Federico Mayor Zaragoza, María Cascales Angosto y José Miguel Ortiz Melón</i>	167
Premio Nobel de Economía, <i>Rafael Morales-Arce Macías</i>	185

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, Antonio González Bueno, Rafael Morales-Arce Macías e Inmaculada Ortiz Uribe. Todos ellos, de manera desinteresada, han colaborado en esta obra y han escrito 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 2020

PONENTES

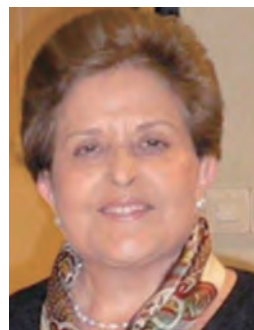
Rafael Bachiller García

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
Hija Predilecta de Cartagena
cascales1934@gmail.com



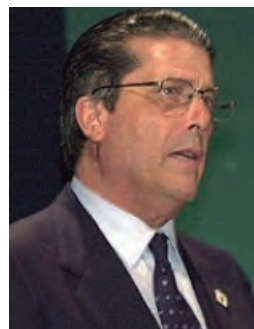
Antonio González Bueno

Doctor en CC Biológicas
Catedrático de la Universidad Complutense
Académico de la Real Academia Nacional
de Farmacia y de la de Doctores de España
agbueno@ucm.es



Federico Mayor Zaragoza

Doctor en Farmacia
Catedrático de Universidad (UAM)
Académico de Número de las RRAA de Farmacia,
Medicina y Honorario de la 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-culuradepaz.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
Catedrático de la Universidad de Cantabria
Académico de Número de la Real Academia
Nacional de Farmacia
ortizjm@unican.es



Inmaculada Ortiz Uribe

Doctora en CC Químicas
Catedrática de Ingeniería Química de la
Universidad de Cantabria
Académica correspondiente de la
Real Academia de Ciencias
ortiz@unican.es

PRÓLOGO

Federico Mayor Zaragoza
María Cascales Angosto
José Miguel Ortiz Melón

Como cada año, a partir del primer lunes del mes de octubre, la Fundación Nobel dio a conocer la lista de los galardonados con los Premios Nobel 2019. En un intento de difundir los hallazgos y actividades de mayor prestigio internacional, la Fundación Ramón Areces edita este año, como otros anteriores, “Premios Nobel 2019: comentarios a sus actividades y descubrimientos”, publicación que recoge la información detallada sobre estos Premios. La obra, presentada hoy, contiene una serie de capítulos correspondientes a cada uno de los Premios que se otorgaron por la Fundación Nobel el pasado mes de octubre y han sido entregados con toda solemnidad el 10 de diciembre de 2019. 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 2019 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 por el Rey de Suecia, en una ceremonia solemne celebrada en la Sala de Conciertos de Estocolmo. El Premio Nobel de la Paz se concedió por el Comité Noruego del Nobel y se entregó en el Parlamento de Oslo por la Presidente de dicho Comité en presencia de los Reyes de Noruega. Ambas ceremonias se celebran cada año el 10 de diciembre, fecha del aniversario de la muerte de Alfred Nobel.

Este año han sido quince los galardonados con el Premio Nobel 2019, por logros que han conferido el mayor beneficio para la humanidad.

Su trabajo y descubrimientos van desde cómo las células se adaptan a los cambios en los niveles de oxígeno hasta nuestra capacidad para combatir la pobreza global.

Fisiología o Medicina. Cómo las células se adaptan al oxígeno

El 7 de octubre de 2019 empezó a hacerse pública la lista de los premiados con los Nobel 2019, cuando la Asamblea Nobel del Instituto Karolinska de Estocolmo dio a conocer a los galardonados con el *Premio Nobel de Fisiología o Medicina*, los estadounidenses William G. Kaelin Jr. y Gregg L. Semenza y el británico Sir Peter J. Ratcliffe, por sus descubrimientos sobre la capacidad de las células de detectar, reconocer y adaptarse a la disponibilidad del oxígeno.

Gregg L. Semenza, del Instituto Nacional de Salud de la Universidad Johns Hopkins, Baltimore; William G. Kaelin Jr., del Dana-Farber Cancer Institute, Boston, comparten el premio con Sir Peter J. Ratcliffe, MD, de la Universidad de Oxford y del Instituto Francis Crick, Londres, por sus descubrimientos sobre cómo las células perciben y se adaptan a las fluctuaciones del oxígeno.

La Real Academia de Ciencias de Suecia se ha expresado de la siguiente manera: “Los descubrimientos fundamentales de los galardonados con el Premio Nobel de este año han puesto de manifiesto el mecanismo de uno de los procesos adaptativos más esenciales de la vida, y han establecido las bases para demostrar que los niveles de oxígeno afectan el metabolismo celular y la función fisiológica. Sus descubrimientos han abierto nuevos horizontes y nuevas estrategias para combatir las cardiopatías isquémicas, la anemia y el cáncer, entre otras enfermedades.

Estas investigaciones, tienen tres protagonistas principales: la hormona eritropoyetina (EPO), el Factor Inducible por Hipoxia (HIF) y la proteína VHL.

La (EPO) es una hormona cuya concentración en sangre se eleva ante la falta de oxígeno (hipoxia) y aumenta la producción de glóbulos rojos, lo cual llevó a

utilizarla como dopaje en algunos deportes. Gregg L. Semenza y Peter J. Radcliffe se preguntaron cómo el gen que produce la EPO puede responder a los cambios en los niveles de oxígeno. Ambos descubrieron, de manera independiente, que hay una secuencia de DNA próxima al gen de la EPO que actúa como sensor de oxígeno, activo en prácticamente todos los tejidos del cuerpo humano, lo cual reveló que distintos tipos de células comparten un mismo mecanismo de detección del oxígeno.

El HIF, fue identificado por Semenza, quien demostró que es la pieza clave que responde a la falta de oxígeno, de manera que cuando la disponibilidad de oxígeno se reduce, la célula responde produciendo más HIF. Después HIF se une a la secuencia de DNA próxima al gen de la EPO aumentando su producción.

La tercera protagonista, introducida por William G. Kaelin, se llama VHL. A diferencia de Semenza y Ratcliffe, Kaelin era un investigador del cáncer que se había especializado en la enfermedad de Von Hippel-Lindau (de ahí el nombre VHL). Se trata de una rara enfermedad hereditaria, causada por mutaciones en el gen VHL, que aumenta dramáticamente el riesgo de algunos cánceres en las familias afectadas.

Kaelin descubrió que, cuando el gen no tiene mutaciones y, por lo tanto, la proteína VHL tiene su forma correcta, esta previene la aparición de tumores. Pero, cuando la proteína es defectuosa, la célula se comporta como si estuviera en situación de hipoxia y esto favorece el cáncer. También descubrió que VHL es imprescindible para degradar uno de los componentes de HIF, HIF-1 alfa. Por lo tanto, cuando falla VHL, se mantienen niveles anormalmente altos de HIF-1 alfa y la célula interpreta que le falta oxígeno.

Kaelin y Ratcliffe descifraron de manera independiente la cadena de reacciones químicas que permiten a las células monitorizar sus niveles de oxígeno. En una primera fase, el oxígeno interactúa con HIF-1 alfa añadiéndole grupos hidroxilo. Posteriormente, gracias a estos grupos hidroxilo, VHL puede unirse a HIF-1 alfa y degradarlo.

“Gracias al trabajo pionero de estos premiados, sabemos mucho más sobre cómo diferentes niveles de oxígeno regulan procesos biológicos fundamentales”, destaca la Academia Nobel.

El control del nivel de oxígeno es esencial en la vida cotidiana ya que “permite a las células adaptar su metabolismo a niveles bajos: por ejemplo, en los músculos durante el ejercicio intenso” o bien “para generar nuevos vasos sanguíneos o producir glóbulos rojos”. Asimismo, “el sistema inmunitario y muchas otras funciones fisiológicas están moduladas por la maquinaria de control del nivel de oxígeno”.

Alteraciones en este sistema de control están implicadas en un gran número de enfermedades, añade la Academia Nobel. Destaca el ejemplo de los tumores que “utilizan la maquinaria regulada por el oxígeno para estimular la formación de vasos sanguíneos y para reformular el metabolismo de las células para conseguir una proliferación efectiva”.

Una vez descubierto este mecanismo, se han iniciado “esfuerzos intensos para desarrollar fármacos que puedan interferir con estados de enfermedad ya sea activando o bloqueando la maquinaria de control de nivel de oxígeno”.

Los tres científicos ya recibieron, en 2017, el prestigioso premio que concede la Fundación Lasker a la investigación médica básica. En la concesión del presente galardón, el jurado destacó el hecho de que este trabajo tiene importantes implicaciones en numerosos procesos biológicos y ha aportado una valiosa información para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

Física: la evolución del universo y la posición de la Tierra en el cosmos

El 8 de octubre de 2019, la Real Academia de las Ciencias sueca del Instituto Karolinska otorgó el Nobel de Física a los descubridores del primer planeta extrasolar y de la evolución del universo: James Peebles, Michel Mayor y Didier Queloz. Con sus descubrimientos han ayudado a entender un poco más la historia del cosmos, y han revolucionado la búsqueda de otros mundos fuera del Sistema Solar. James Peebles ha ayudado a entender la historia del cosmos, mientras que Michel Mayor y Didier Queloz han revolucionado la búsqueda de mundos fuera del Sistema Solar.

¿De dónde venimos y hacia dónde vamos? Son preguntas fundamentales sobre nuestra existencia. Los tres astrofísicos han sido galardonados con el

Nobel de Física 2019 por sus impresionantes avances en el intento de contestarlas. El canadiense James Peebles, que recibe la mitad del premio, ha mostrado la evolución del universo desde el Big Bang hasta el presente, arrojando luz sobre la misteriosa composición del cosmos. Por su parte, los suizos Michel Mayor y Didier Queloz, que comparten la otra mitad, fueron los primeros en encontrar, en 1995, un planeta extrasolar orbitando una estrella. Desde entonces, la «caza» de mundos en otros sistemas, exoplanetas, ha sido imparable: ahora ya se conocen 4.000.

Según el Instituto Karolinska de Estocolmo, las ideas de Peebles fueron decisivas para transformar la cosmología en los últimos cincuenta años, abandonando la especulación y recurriendo solamente a observaciones y medidas para conocer el cosmos. “Su marco teórico, desarrollado durante dos décadas, es la base de nuestra comprensión moderna de la historia del universo”. Peebles identificó la radiación residual dejada por el Big Bang hace casi 14.000 millones de años. Codificados en ella, están ocultos muchos secretos de esa gran explosión. Sus cálculos muestran un universo en el que solo se conoce el cinco por ciento de su contenido, la materia de la que están hechas las estrellas, los planetas o nosotros mismos. El resto, el 95 por ciento, es materia y energía oscura, por ahora desconocidas y un auténtico desafío para la física moderna.

Aún no sabemos si estamos solos en ese gran universo cambiante y en expansión, pero lo que sí ya sabemos, gracias a Mayor y Queloz, es que el sol no es la única estrella que tiene planetas a su alrededor. En octubre de 1995 ellos anunciaron conjuntamente el descubrimiento del primer exoplaneta, 51 Pegasi b, orbitando una estrella de tipo solar en nuestra galaxia, la Vía Láctea, a 50 años luz de nosotros. Desde el Observatorio de la Alta Provenza, en el sur de Francia, utilizando instrumentos personalizados, observaron una bola gaseosa de más de 1.000°C, comparable con Júpiter, el gigante de gas más grande del sistema solar. Desde entonces se han encontrado más de 4.000 mundos extrasolares en la Vía Láctea, algunos de ellos muy extraños, con una increíble riqueza de tamaños, formas y órbitas.

Algunos de esos planetas muy prometedores, son rocosos y están en zona habitable (a la distancia adecuada de su estrella para que pueda haber agua líquida). TESS, un satélite de la NASA, rastrea más de 200.000 estrellas cer-

canas y un solo telescopio espacial, Kepler, ha encontrado un tesoro de más de 2.300 mundos.

Química: desarrollo de las baterías de iones de litio

El 9 de octubre de 2019, la Real Academia de las Ciencias de Suecia dio a conocer a los galardonados con el Premio Nobel de Química de 2019: John B. Goodenough, Stanley Whittingham y Akira Yoshino por desarrollar la batería de iones de litio.

Al hacerlo, ha premiado a los “padres” de las baterías de ion-litio recargables, presentes en cualquier dispositivo inalámbrico actual, desde los teléfonos móviles a los ordenadores portátiles que utilizamos a diario. El estadounidense John B. Goodenough, el británico Stanley Whittingham y el japonés Akira Yoshino impulsaron la creación de una batería potente y ligera que puede hacer posible «un mundo libre de combustibles fósiles». El motivo es que se utiliza para todo, desde alimentar automóviles eléctricos hasta almacenar energía de fuentes renovables, como la solar y la eólica.

Para hacer la batería más segura, Whittingham realizó algunos cambios y el artefacto comenzó a fabricarse a pequeña escala para un relojero suizo que quería usarla en relojes con energía solar. El siguiente objetivo, era poder alimentar un automóvil. Sin embargo, el precio del petróleo cayó drásticamente a principios de la década de 1980 y Exxon necesitaba hacer recortes. El trabajo se suspendió y la tecnología fue licenciada a tres compañías en tres partes diferentes del mundo. Como muchos ingenios, este también surgió de la necesidad. En plena crisis del petróleo en la década de 1970, el gigante Exxon decidió diversificar sus actividades y, en una importante inversión en investigación básica, reclutó a algunos de los científicos más importantes de la época en el campo de la energía, dándoles la libertad de abordar los temas que estimasen más oportunos. Y ahí estaba Whittingham, actual profesor de la Universidad Estatal de Nueva York, quien comenzó a investigar sobre superconductores y descubrió un material extremadamente rico en energía, que utilizó para crear un cátodo innovador en una batería de litio. Estaba hecho de disulfuro de titanio que, a nivel molecular, tiene espacios que pueden intercalar iones de litio.

Literatura 2018: imaginación narrativa con pasión enciclopédica

Literatura 2019: ingenio lingüístico con que ha explorado la periferia y la especificidad de la experiencia humana

El galardón literario más prestigioso del mundo ha sido fallado (y duplicado) tras la suspensión de la convocatoria del 2018 por los escándalos internos de la institución sueca. El 10 de octubre de 2019 se concedieron dos Premios Nobel de Literatura: el *Premio Nobel de Literatura* correspondiente a 2018 se otorgó a la polaca Olga Tokarczuk y el de 2019 al austriaco Peter Handke.

El secretario permanente de la Academia Sueca, Mats Malm, fue quien anunció los dos ganadores, destacando de la autora polaca “una imaginación narrativa que, con una pasión enciclopédica, simboliza la superación de las fronteras como forma de vida” y, del austriaco, una obra que “llena de inventiva lingüística, ha explorado la periferia y la singularidad de la experiencia humana”.

Olga Tokarczuk, de 57 años, nacida en Sulechów (Polonia), ganó el año pasado con su novela ‘Los errantes’ el premio Man Booker Internacional, cuyo jurado la definió como “una escritora de maravillosa agudeza, imaginación y estilo literario”. Licenciada en Psicología y especialista en Karl Jung, ha publicado ocho novelas, dos colecciones de cuentos y algún poemario.

Sus dos obras más conocidas hasta ahora son ‘Un lugar llamado antaño’ (1996) y ‘Sobre los huesos de los muertos’ (2009), un “thriller” metafísico y ecologista adaptado al cine por Agnieszka Holland y protagonizado por una Ingeniera de Caminos retirada, que enseña inglés en una escuela rural del montañoso suroeste de Polonia, y que deberá afrontar una serie de asesinatos de cazadores furtivos.

La obra de Tokarczuk es muy variada, mezcla lo real con lo metafísico, une lo racional y lo irracional, con personajes cuyas biografías y personalidades se entrecruzan conformando un fresco de grandes dimensiones, una especie de “puzzle” trascendente. “No poseo propiamente una biografía muy clara –declaró la autora en un acto en el Instituto del Libro Polaco– ...Me compongo más bien de esos personajes que han surgido de mi mente, que me he inventado. Soy todos ellos,

gracias a ellos tengo una biografía con muchas tramas, enorme, y son ellos los que me definen mejor que nada”. Activista de izquierdas y vegetariana, es una firme opositora al gobierno conservador nacionalista del partido Derecho y Justicia (PiS). Hija de maestros y madre de un hijo, “es una mística que busca la verdad”, según ha declarado su amiga Kinga Dunin.

El austriaco Peter Handke, de 76 años, residente en Chaville (Francia), fue polémico por sus posturas en la guerra de los Balcanes de los años 90, donde apoyó ciertas posiciones de Serbia, criticó la manipulación de los medios de comunicación occidentales y llegó a asistir al funeral de Slobodan Milosevic. Por ese motivo, se dijo que se había caído de las quinielas del premio Nobel. Él reflejó su postura, mucho más rica, compleja y matizada, en su libro “Un viaje de invierno a los ríos Danubio, Save, Morava y Drina, o justicia para Serbia”. Dramaturgo y novelista, es autor de obras como “El miedo del portero ante el penalty” (1970), “En una noche oscura salí de mi casa sosegada” (2000) o “La gran caída” (2014). Como cineasta, realizó, junto a su amigo Wim Wenders, todo un clásico como “El cielo sobre Berlín” (1987).

Gran conocedor de España, que visitó por primera vez en 1972, cuando asistió a una corrida de toros en Valencia, ha sido influido por Cervantes, Teresa de Jesús, Antonio Machado y María Zambrano. Escribió en Linares (Jaén) su “Ensayo sobre el cansancio”, y en Soria su “Ensayo sobre el jukebox”.

Los laureados compartieron honores y, en la ceremonia de entrega del 10 de diciembre, donde es tradición que el premiado en Literatura realice un brindis ante los reyes de Suecia y el resto de invitados, realizaron este año dos brindis.

PAZ: lograr la paz y la cooperación internacional con la vecina Eritrea

El 12 de octubre de 2019 el Comité Noruego del Nobel decidió otorgar el Premio Nobel de la Paz 2019 al primer ministro etíope Abiy Ahmed Ali por sus esfuerzos para lograr la paz y la cooperación internacional, y en particular por su iniciativa para resolver el conflicto fronterizo con la vecina Eritrea. El premio también está destinado a reconocer a todas las partes interesadas que trabajan por la paz y la reconciliación en Etiopía y en las regiones de África oriental y nororiental.

Cuando Abiy Ahmed se convirtió en Primer Ministro, en abril de 2018, dejó en claro que deseaba reanudar las conversaciones de paz con Eritrea. En estrecha cooperación con Isaias Afwerki, el Presidente de Eritrea, Abiy Ahmed rápidamente elaboró los principios de un acuerdo de paz para poner fin al largo estancamiento “sin paz, sin guerra” entre los dos países. Estos principios se establecen en las declaraciones que el primer ministro Abiy y el presidente Afwerki firmaron en Asmara y Jeddah en julio y septiembre pasados. Una premisa importante para el avance fue la voluntad incondicional de Abiy Ahmed de aceptar el fallo de arbitraje de una comisión internacional de fronteras en 2002.

La paz no surge de las acciones de una sola parte. Cuando el primer ministro Abiy extendió la mano, el presidente Afwerki la apretó y ayudó a formalizar el proceso de paz entre los dos países. El Comité Nobel noruego espera que el acuerdo de paz ayude a lograr un cambio positivo para toda la población de Etiopía y Eritrea.

En Etiopía, Abiy Ahmed ha iniciado importantes reformas que dan a muchos ciudadanos la esperanza de una vida mejor y un futuro más brillante. Pasó sus primeros 100 días como Primer Ministro levantando el estado de emergencia del país, otorgando amnistía a miles de prisioneros políticos, eliminando la censura de los medios, legalizando grupos de oposición prohibidos, destituyendo a líderes militares y civiles sospechosos de corrupción, y aumentando significativamente la influencia de mujeres en la vida política y comunitaria etíope. También se ha comprometido a fortalecer la democracia celebrando elecciones libres y justas.

Etiopía es un país de muchos idiomas y pueblos diferentes. Últimamente, han surgido viejas rivalidades étnicas. Según observadores internacionales, hasta tres millones de etíopes pueden ser desplazados internos a lo que se añade el millón de refugiados y solicitantes de asilo de los países vecinos. Como primer ministro, Abiy Ahmed ha tratado de promover la reconciliación, la solidaridad y la justicia social. Sin embargo, muchos desafíos siguen sin resolverse. La lucha étnica continúa aumentando, por lo que algunos piensan que el premio de este año se otorgó demasiado pronto. El Comité Nobel noruego cree, sin embargo que ahora los esfuerzos de Abiy Ahmed merecen reconocimiento y necesitan estímulo, confiando que el Premio Nobel de la Paz fortalezca al Primer Ministro Abiy en su importante trabajo por la paz y la reconciliación. Etiopía es el segundo país más poblado de África y tiene la economía más grande de África Oriental. Una Etiopía

pacífica, estable y exitosa tendrá muchos efectos secundarios positivos y ayudará a fortalecer la fraternidad entre las naciones y los pueblos de la región.

Economía: alivio de la pobreza global

El 15 de octubre de 2019, el Banco Nacional de Suecia ha concedido el Premio Nobel de Economía 2019 a Abhijit Banerjee, Esther Duflo y Michael Kremer, “por sus estudios experimentales sobre la pobreza”. Cómo reducirla es hoy uno de los mayores retos, y estos tres académicos han hecho contribuciones decisivas a las políticas y los incentivos que hay que aplicar. Abhijit Banerjee y Esther Duflo son profesores en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en Estados Unidos, son pareja y tienen un hijo. Kremer posee plaza en la Universidad de Harvard.

La Academia Sueca señala que “a pesar de la mejora en los niveles de vida, más de 700 millones de personas todavía subsisten con ingresos extremadamente bajos. Cada año, unos cinco millones de niños menores de cinco años fallecen por enfermedades que podrían a menudo ser prevenidas o curadas con tratamientos de bajo coste. La mitad de los niños del mundo todavía abandona la escuela con capacidades insuficientes de lectura y aritmética”. Los galardonados de este año han introducido una nueva forma de dar respuestas fiables a estos problemas. Básicamente, se hacen preguntas sobre cuestiones concretas que pueden responder con experimentos de campo. Y de esta manera llegan a conclusiones que sirven, entre otras cosas, para mejorar los resultados educativos o la salud de los niños. Kremer ha concluido que las familias pobres son muy sensibles al precio y apenas administran medicina preventiva a sus hijos a menos que sea gratis.

Los estudios de los tres dominan la llamada economía del desarrollo. Durante los últimos 20 años, “sus hallazgos han mejorado dramáticamente la capacidad práctica para combatir la pobreza”. En unos experimentos en Kenia con la colaboración de una ONG, Kremer empezó a mediados de los noventa comprobando que los libros de texto y las comidas gratis no ayudaban a mejorar los resultados escolares. En cambio, años más tarde Banerjee y Duflo concluyeron que lo más efectivo eran los programas de apoyo a estudiantes, ayudantes para los profesores y centrarse en los niños con más necesidades.

Gracias al trabajo de Banerjee y Duflo, las tutorías de refuerzo se han extendido a 100.000 escuelas en la India, beneficiando a más de cinco millones de alumnos. Y este tipo de investigaciones se han prodigado en áreas como la sanidad, el acceso al crédito o la adopción de nuevas técnicas agrícolas. En general, sus estudios certifican que ampliar el acceso a agua potable es una de las inversiones más rentables para los países en desarrollo.

Según las conclusiones de los nuevos galardonados, poner más recursos o recortar el número de estudiantes por profesor tiene un impacto limitado en la educación. Por el contrario, funciona mucho mejor si se establecen los incentivos adecuados para los profesores.

Estos economistas emplean los métodos tradicionales de los ensayos clínicos de las compañías farmacéuticas. Estudian los incentivos, las restricciones y la información que las motivó, construyendo patrones de comportamiento que pueden generalizarse a todo el mundo. Parte de su trabajo se basa en la Teoría de los Contratos y la Economía del Comportamiento, que recibieron premios Nobel en 2016 y 2017, respectivamente. Entre sus descubrimientos está que los microcréditos apenas sirven para aumentar la inversión o el consumo.

“Nuestro objetivo es asegurarse de que la lucha contra la pobreza se hace basándose en la evidencia científica”, ha dicho Duflo en una rueda de prensa posterior al anuncio. Para el futuro, ha destacado que esta ciencia también debería aplicarse a largo plazo para las situaciones de pobreza en el mundo desarrollado, en especial tras la devastación causada por la Gran Recesión.

Banerjee y Duflo han escrito juntos el libro *Repensar la pobreza*. Sostienen que la ayuda foránea y la apertura comercial ayudan pero no son decisivas. La primera no tiene el tamaño suficiente salvo para puntuales crisis humanitarias. Y la segunda se ve mermada porque países como China son mucho más productivos.

Los premiados identifican comportamientos que no se explican de forma racional y que hacen que una política de desarrollo fracase. Así, han descubierto que los agricultores en países pobres son reacios a modernizarse y tienden a retrasar la inversión en fertilizantes. Por esta razón, el envío a domicilio de estos productos da magníficos resultados. O saltarse la burocracia e ir directamente casa por casa apuntando a los beneficiarios al suministro de agua limpia en lugar de esperar a

que acudan a registrarse. Las unidades móviles de vacunación combinadas con el regalo de comida han brindado también muy buenos frutos.

Banerjee y Duflo han creado un laboratorio, el J-PAL del MIT, que asiste en el diseño de ensayos rápidos para medir la eficiencia de políticas concretas de cooperación y desarrollo. Esta especie de auditora de la ayuda al desarrollo permite a ONGs y Estados gastar mejor sus recursos. Y recibió en 2008 el Premio Fronteras del Conocimiento de la Fundación BBVA. En 2015, Duflo obtuvo el Princesa de Asturias de Ciencias Sociales.

El Nobel de Economía es el último de los premios que se entrega cada año, y el único que no decide directamente la Academia sueca de Ciencias. Fue creado en 1968, oficialmente como “premio del Banco de Suecia en ciencias económicas en memoria de Alfred Nobel”, para celebrar los 300 años de historia de la institución.

INFORMACIÓN SOBRE LA ENTREGA DE LOS PREMIOS NOBEL 2019

Federico Mayor Zaragoza
María Cascales Angosto
José Miguel Ortiz Melón

Desde 1901, los premios Nobel se han concedido cada año en octubre y se han entregado a los galardonados en las ceremonias del 10 de diciembre, aniversario de la muerte de Alfred Nobel. Según lo estipulado en la voluntad del inventor e industrial sueco Alfred Nobel, que se abrió después de su muerte en 1896, los Premios Nobel de Física, Química, Fisiología o Medicina y Literatura se otorgan en Estocolmo, Suecia, mientras que el Premio Nobel de la Paz se otorga en Oslo, Noruega. Desde 1969 se ha otorgado un premio adicional en la ceremonia en Estocolmo, el Premio Sveriges Riksbank en Ciencias Económicas que se estableció, en 1968, con motivo del 300 aniversario del Riksbank.

La ceremonia de entrega del Premio en Estocolmo se ha llevado a cabo, casi sin excepción, en la Sala de Conciertos de Estocolmo (Stockholms Konserthus) desde 1926. En Oslo, la ceremonia se celebró durante muchos años en el Instituto Nobel. Desde 1947 hasta 1990, el escenario fue el auditorio de la Universidad de Oslo. En 1990, el evento se trasladó al Ayuntamiento de Oslo.

Dado que el Premio Nobel es considerado, con mucho, el premio más prestigioso del mundo, las Ceremonias de entrega de premios, así como los banquetes en Estocolmo y Oslo el 10 de diciembre, se han transformado en importantes eventos internacionales que reciben cobertura mundial por los medios impresos, la radio y la televisión.

En la Ceremonia de entrega de premios en Estocolmo, los discursos de presentación ensalzan los descubrimientos o trabajos de los galardonados, después de lo cual Su Majestad el Rey de Suecia entrega a cada Laureado un diploma, una medalla y una cantidad estipulada.

Al final de la ceremonia se celebra un banquete en el Ayuntamiento de Estocolmo (Stockholms Stadshus) para unas 1.300 personas, incluidos 250 estudiantes. Con algunas excepciones, el banquete Nobel se ha llevado a cabo en el Ayuntamiento, desde 1930. Las festividades Nobel en Estocolmo son organizadas por la Fundación Nobel y son principalmente una celebración académica centrada en la Ciencia y la Literatura. Además de los galardonados con el Premio Nobel y sus familias, Sus Majestades el Rey y la Reina y otros miembros de la Familia Real de Suecia son invitados de honor tanto en la Ceremonia de entrega de premios como en el Banquete. También participan representantes del Gobierno y el Parlamento suecos. Los invitados internacionales disfrutan de prioridad, especialmente aquellos que representan las Ciencias y la vida cultural. Los invitados suecos son personas que participan en funciones relacionadas con el Nobel de una forma u otra, ayudan a las Ciencias a través de donaciones o de otra manera apoyan a la Fundación y al Premio.

En Oslo, el Presidente del Comité Nobel de Noruega presenta el Premio Nobel de la Paz en presencia de Sus Majestades, el Rey y la Reina de Noruega, el Gobierno, representantes de Storting y una audiencia invitada. Varios cientos de asientos están reservados para personas con razones especiales para desear asistir a la ceremonia. Más tarde, ese mismo día, el Comité Nobel Noruego organiza un banquete en honor del Laureado, con invitados especiales.



Ayuntamiento de Oslo.

La Fundación Nobel es la encargada de administrar la fortuna de Alfred Nobel y tiene la responsabilidad final de cumplir con las intenciones de la voluntad de Nobel. Durante más de un siglo, instituciones académicas han trabajado de forma independiente para seleccionar premios Nobel en cada categoría. Se han desarrollado varias organizaciones y actividades de divulgación para inspirar a las generaciones y difundir el conocimiento sobre el Premio Nobel.

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. Estos Premios 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.

Cada laureado recibe una medalla de oro, un diploma y una suma de dinero, que determina cada año la Fundación Nobel y este año ha supuesto 9 millones de coronas suecas, que se reparte en caso de los Nobel compartidos por 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 se produce en octubre día a día, la ceremonia de entrega de premios es conjunta y tiene lugar en Estocolmo (Suecia). La única excepción es el Nobel de la Paz, que elige el Comité Noruego del Nobel y se entrega en Oslo.

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.

La ceremonia de entrega de los Premios Nobel está presidida por el rey Carlos Gustavo XVI y la reina Silvia, con asistencia de los herederos y demás miembros de la Casa Real. Este año se celebró el domingo 10 de diciembre de 2019 en el Palacio de Congresos de Estocolmo. El rey Carlos Gustavo hizo entrega de los respectivos Premios Nobel 2019 a los quince 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 y 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 del discurso de apertura tuvo lugar la presentación de cada uno de los galardonados al auditorio en el siguiente orden: Física, Química, Fisiología o Medicina, Literatura 2018, Literatura 2019 y Economía.



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 2019 (The Nobel Foundation).

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 es de 9 millones de coronas suecas (1,1 millones de dólares), después de que este año la Fundación Nobel aumentara el monto de las distinciones Nobel por primera vez en cinco años.



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

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.

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 celebró la ceremonia de la entrega del Premio Nobel de la Paz a Abiy Ahmed Ali, en la City Hall en Oslo, el 10 de diciembre de 2019, 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 Berit Reiss Andersen, la presidenta del Comité Noruego del Nobel, del que destacamos las siguientes palabras:

Dicen que las buenas noticias rara vez llegan del Cuerno de África. Históricamente, las buenas noticias vinieron de África. Etiopía es la cuna de la humanidad. Los primeros Homo sapiens emigraron del territorio de su país. En este sentido, todos somos etíopes. Su país tiene una historia única también dentro de un contexto africano, ya que nunca fue colonizado por ninguna potencia occidental. Es en parte por esta misma razón que Etiopía es el hogar de la Unión Africana.

La buena noticia de hoy son sus esfuerzos por establecer un nuevo orden de iniciativas de paz, apertura y mediación pacífica para encontrar nuevas soluciones a las viejas disputas. El Comité Nobel Noruego comprende plenamente que la paz se crea en cooperación con otros. Le otorgamos el Premio de la Paz como individuo porque usted personalmente ha marcado una diferencia extraordinaria en varios ámbitos. Es la totalidad de sus esfuerzos lo que nos convenció de que fue usted, señor Primer Ministro, quien hizo la contribución más importante a la paz en el último año. Al formular mi declaración de esta manera, estoy citando los términos de la voluntad de Alfred Nobel. También ha cumplido otro requisito de su voluntad, a saber, fortalecer la fraternidad, tanto entre los pueblos como entre las naciones.



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 en Oslo, el 10 de diciembre de 2019 (gettyimages Nigel Waldron).

Posteriormente, la Presidenta del Comité Noruego del Nobel hizo entrega a Abiy Ahmed Ali del diploma, la medalla y la dotación económica del Premio.

A continuación y después de un intermedio musical Abiy Ahmed Ali, pronunció su discurso protocolario de aceptación y agradecimiento.



Entrega del Premio Nobel de la Paz 2019. Abiy Ahmed Ali recibe el Premio de manos de Berit Reiss-Andersen Presidenta del Comité Nobel (Credit: Nobelprize.org).

Al final de los discursos, sus majestades los reyes Harald y Sonja y los príncipes herederos se acercaron a Abiy Ahmed Ali para felicitarle personalmente por su trayectoria vital en pro de la paz, por sus emocionantes palabras y por haber conseguido el Premio Nobel de la Paz.

El programa se completó por la tarde con la procesión con antorchas que finalizó delante del hotel donde reside el premiado y finalizó con un banquete al que acudieron los miembros del Comité Nobel Noruego y los reyes y príncipes herederos de Noruega.

Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2019
WILLIAM G. Kaelin JR., SIR PETER J.
RATCLIFFE Y GREGG L. SEMENZA
POR SUS DESCUBRIMIENTOS SOBRE
LA CAPACIDAD DE LAS CÉLULAS DE DETECTAR Y
ADAPTARSE A LA DISPONIBILIDAD
DEL OXÍGENO



En el anverso de la medalla se muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y muerte OB MDCCCXCVI. El reverso de la medalla del Premio Nobel de Fisiología o Medicina, representa a la “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 iuvat excoluisse per artes* ha sido tomada de la obra de Virgilio del siglo I AC, *Eneida*. 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

La Asamblea Nobel del Instituto Karolinska de Estocolmo ha concedido el Premio Nobel de Fisiología o Medicina 2019 a tres investigadores: los estadounidenses William G. Kaelin y Gregg L. Semenza y al británico Sir Peter J. Ratcliffe, por sus descubrimientos sobre el reconocimiento y adaptación de células a las fluctuaciones del oxígeno.



Sir Peter J. Ratcliffe

Gregg L. Semenza

William G. Kaelin

Gregg L. Semenza, MD, Ph.D., pertenece al Instituto Nacional de Salud de la Universidad Johns Hopkins, Baltimore y William G. Kaelin Jr., MD, al Dana-Farber Cancer Institute, de Boston. Comparten el premio con Sir Peter J. Ratcliffe, MD, de la Universidad de Oxford y del Instituto Francis Crick, Londres, por sus descubrimientos sobre cómo las células perciben y se adaptan a la disponibilidad de oxígeno.

La Real Academia de Ciencias de Suecia se ha expresado de la siguiente manera: “Los descubrimientos fundamentales de los galardonados con el Premio Nobel de este año han revelado el mecanismo de uno de los procesos adaptativos más esenciales de la vida, y han establecido las bases para demostrar que los niveles de oxígeno afectan al metabolismo celular y la función fisiológica. Sus descubrimientos han ampliado el horizonte para conseguir nuevas estrategias para combatir la anemia y el cáncer entre otras enfermedades”.

Es un galardón, muy merecido, tiene grandes repercusiones, porque abre vías muy importantes para el tratamiento de numerosas enfermedades. El conocimiento de los mecanismos de autodefensa que tienen las células para seguir recibiendo oxígeno cuando este escasea, permitirá en el futuro, paliar alteraciones tales como la cardiopatía isquémica.

Los tres científicos ya recibieron en 2017 el prestigioso premio que concede la Fundación Lasker a la investigación médica básica. En la concesión del presente galardón, el jurado destacó el hecho de que este trabajo tiene importantes implicaciones en numerosos procesos biológicos y ha aportado una valiosa información para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

■ Resumen

Semenza, estudiando el gen de la eritropoyetina (EPO) descubrió un complejo proteico al que denominó factor inducible por hipoxia (HIF) que controla el funcionamiento del gen EPO y su respuesta a las fluctuaciones del oxígeno. Esta proteína es operativa cuando los niveles de oxígeno son bajos (hipoxia), pero su actividad desaparece cuando se elevan (normoxia). Por otro lado, Ratcliffe y Kaelin identificaron otra proteína, llamada VHL, que interviene en la destrucción del HIF cuando se elevan los niveles de oxígeno. En conjunto, las investigaciones de los tres premiados, revelan la existencia de un conjunto de cambios moleculares que responden a las fluctuaciones del oxígeno. Se ha encontrado que al menos 300 genes están regulados por la proteína original identificada por Semenza.

■ Introducción

El oxígeno es un elemento necesario para la vida de los organismos aerobios. Su misión es la conversión de los alimentos en energía útil para su supervivencia. Aunque la importancia del oxígeno es conocida desde la antigüedad, es ahora cuando se han desvelado los mecanismos que utilizan las células para adaptarse a cambios en los niveles de oxígeno.

En los seres humanos, la distribución del oxígeno (por pulmones, corazón, sangre, circulación y vasos sanguíneos) a todas las células supone un importante desafío, ya que si esa distribución es deficitaria se producirán alteraciones en el metabolismo, mientras que si es excesiva resultará tóxica. Muchas enfermedades humanas tienen su origen en el escaso acceso del oxígeno a las células.

Por tanto, el suministro continuo y adecuado de oxígeno a los tejidos es esencial para el mantenimiento de la función y fisiología de las células de mamíferos. La deficiencia en este suministro caracteriza aquellas situaciones fisiopatológicas en las cuales existe un flujo sanguíneo insuficiente, que al originar un medio hipóxico, activa una cascada señalizadora intracelular que promueve la inducción o represión de la transcripción de muchos genes implicados en procesos tales como la angiogénesis (neo-vascularización), metabolismo de la glucosa, supervivencia/muerte celular, etc. La clave de esta respuesta a la hipoxia se encuentra en el factor inducible por hipoxia (HIF), adaptador celular a la falta de oxígeno. El HIF es una proteína que funciona como un heterodímero ya que comprende una subunidad

α lábil, que depende del oxígeno, y una subunidad β estable, no dependiente del oxígeno, también denominada ARNT (transportador nuclear del receptor de hidrocarburos). La transcripción de genes inducida por hipoxia promueve comportamientos típicos de los tumores, tales como angiogenesis, invasión, metástasis, desdiferenciación y aumento en el metabolismo glucolítico. Estos efectos están mediados, en buena parte, por genes cuya expresión está gobernada por el HIF. Las respuestas a la hipoxia contribuyen sustancialmente al fenotipo maligno. Kaelin, Ratcliffe y Semenza, investigando por separado descubrieron las acciones principales de la proteína sensible al oxígeno denominada factor inducible por hipoxia (HIF). Así, han desentrañado la red de moléculas que dirigen el HIF hacia el proteosoma para destruirlo cuando las condiciones de oxígeno son elevadas. En condiciones de falta de oxígeno, el mismo Sistema causa la elevación del HIF y la producción de una hormona, la eritropoyetina (EPO) que desencadena la producción de eritrocitos y vasos sanguíneos.

■ Oxígeno: elemento esencial en la vida aerobia

A lo largo de la evolución se han ido desarrollando gran cantidad de mecanismos encaminados a asegurar el suficiente suministro de oxígeno a las células y tejidos del organismo. Aunque la importancia del oxígeno para los seres humanos se conoce desde hace siglos, los mecanismos que explican cómo las células perciben y se adaptan a las variaciones de este elemento, no se han conocido hasta los últimos años del siglo XX, que es cuando las investigaciones de los tres científicos premiados pusieron de manifiesto la existencia de una maquinaria molecular que regula esta respuesta.

La vida aerobia utiliza el oxígeno, que obtiene mediante la respiración, para que las células puedan oxidar los sustratos ricos en carbono e hidrógeno, con el objeto de obtener a partir de ellos, la energía química y calor, esenciales para la vida. Las células perciben el oxígeno del que disponen y ajustan su ritmo metabólico de una manera eficiente que asegure la generación de energía necesaria para la reparación de lesiones o el mantenimiento de las tareas rutinarias diarias de células tales como la misión de los hepatocitos o neuronas, y también para mantener la temperatura corporal.

El O_2 tiene un papel vital como receptor terminal de electrones y protones que lo convierten en agua. En la secuencia de aceptación de electrones, sucesivamente

de uno en uno, una pequeña proporción se desvía formando subproductos de la reducción monovalente. Así, el oxígeno, al incorporar un electrón, se convierte en radical superóxido (O_2^-); al aceptar el segundo, a peróxido de hidrógeno (H_2O_2); al aceptar el tercero a radical hidroxilo ($\cdot OH$); y por último a agua, al aceptar el cuarto (figura 1).

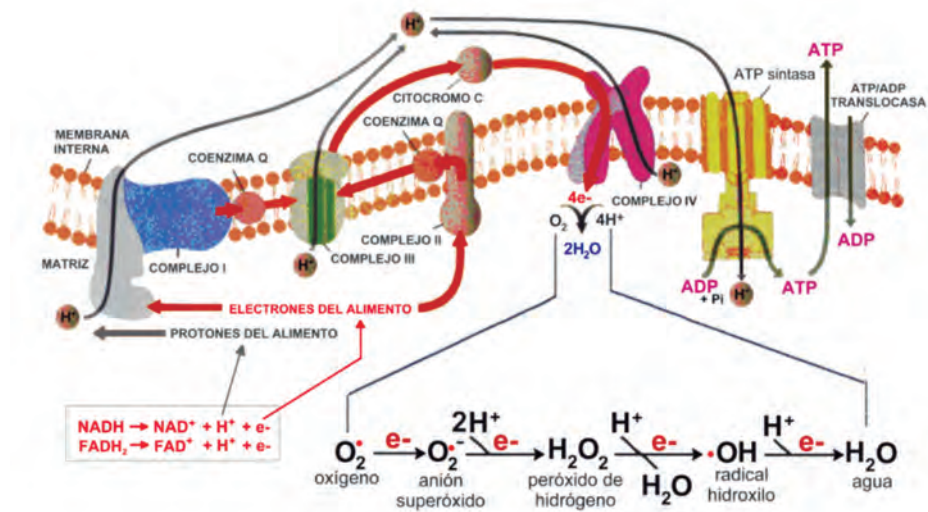


Figura 1. Cadena de transporte electrónico mitocondrial. Respiración/fosforilación oxidativa: proceso generador de ATP en el cual el O_2 actúa como el aceptor último de electrones. La degradación del alimento (glucosa) en la glucólisis y el ciclo de Krebs, genera electrones y protones que son transportados en forma de NADH y $FADH_2$ a la cadena de transporte electrónico mitocondrial, y de ahí al oxígeno. El transporte de electrones va unido al bombeo de H^+ hacia el espacio intermembrana y su posterior flujo al interior de la matriz a través del complejo ATP sintasa que sintetiza ATP (Boticario y Cascales 2010).

Estos subproductos intermediarios de la reducción tetravalente del oxígeno se denominan *especies reactivas de oxígeno* (ROS). Las ROS son muy agresivas y pueden producir la oxidación de macromoléculas celulares. En caso de producirse en exceso llegan a ocasionar un estado de “estrés oxidativo”. Las ROS pueden reaccionar con proteínas, lípidos de membrana, carbohidratos y ácidos nucleicos, lo que conduce a la lesión de órganos y tejidos. Estas lesiones contribuyen a enfermedades crónicas, tales como artritis reumatoide, achaques del envejecimiento, etc.

La fosforilación oxidativa capacita a las células para generar las cantidades de ATP requeridas para la supervivencia de los organismos multicelulares. En casos

de disponibilidad de oxígeno reducida, el transporte electrónico mitocondrial es menos eficiente y se eleva la generación del anión superóxido. En estas condiciones, para aminorar la producción mitocondrial de superóxido e incrementar la síntesis de NADH y glutatión, se produce un cambio desde el metabolismo oxidativo hacia el glucolítico.

Metabolismo glucolítico: En la conversión de una molécula de glucosa en dos de piruvato, se generan dos moléculas de ATP y NADH. El NADH se utiliza para reducir el piruvato a lactato.

Metabolismo oxidativo: El piruvato, derivado de la glucosa entra en la mitocondria y en el ciclo TCA se convierte en acetil coenzima A y CO_2 . El NADH y el FADH_2 generado en este proceso proporcionan electrones a los citocromos de la cadena respiratoria y últimamente al oxígeno, generando ATP. La completa oxidación de una molécula de glucosa proporciona 36 moléculas de ATP.

La paradoja de la aerobiosis o la paradoja del oxígeno es que los organismos aerobios eucariotas superiores no pueden existir en ausencia del oxígeno mientras que el oxígeno es inherentemente tóxico para su existencia.

La atmósfera de nuestro planeta fue anaerobia hasta que, hace 2.500 millones de años surgió el oxígeno, como resultado de la rotura del agua en el proceso fotosintético de algas microscópicas cianofíceas. A partir de aquí y con el advenimiento de la fotosíntesis oxidativa, la acumulación progresiva del oxígeno cambió el ambiente de la atmósfera desde predominantemente reductor (rico en hidrógeno) o neutro (CO_2 y N_2) hasta ocupar un 20% del aire que respiramos.

Como el oxígeno es potencialmente tóxico, su incremento en la atmósfera hizo que los organismos que habían vivido hasta entonces en condiciones anaerobias, se encontraran sometidos a una presión selectiva que produjo un incremento en la tasa de mutaciones y aceleró la evolución. La utilización del oxígeno por las células presentaba una serie de ventajas, mayor energía, derivada de los alimentos, para realizar nuevas transformaciones metabólicas, para destoxificar numerosos compuestos y para generar luz y calor. Todas estas ventajas tenían un precio, y ese precio era tener que proporcionar sistemas de defensa frente a la considerable toxicidad de este gas paramagnético. Aquellos organismos que tuvieron éxito en el desarrollo de las requeridas defensas pudieron sacar provecho de los beneficios y ello dio lugar a una enorme variedad de formas de vida aerobia tan evidentes hoy sobre la Tierra. Sin embargo, aquellos que no pudieron acomodarse a la toxicidad del oxígeno evolucionaron como anaerobios microscópicos restringidos a nichos anaeróbicos.

El oxígeno es utilizado por las mitocondrias, corpúsculos presentes en las células, para transformar los nutrientes en energía. El oxígeno puede ser lesivo si las concentraciones en el organismo son demasiado altas y llegar a producir la muerte cuando son demasiado bajas, por lo cual es de importancia crítica un control estricto de la cantidad de oxígeno que reciben nuestras células.

El elemento oxígeno existe en el aire en forma molecular O_2 . Fue descubierto, aislado y caracterizado independientemente por Priestley y Scheele en 1774 y poco tiempo después Lavoisier describió que la inhalación del oxígeno podía presentar efectos tóxicos. Aunque se conoce desde hace décadas que la terapia del oxígeno puede resultar beneficiosa en muchas situaciones patológicas, los tratamientos prolongados pueden suponer un riesgo de toxicidad. La aceptación final de la toxicidad del oxígeno no llegó hasta 1967 cuando Nash *et al.*, relacionaron la concentración y duración del oxígeno inhalado con la patología del pulmón. Fue en 1954 cuando Gersman *et al.*, describieron por primera vez, que los efectos tóxicos del oxígeno se debían a la formación de radicales libres.

Por su capacidad elevada para aceptar electrones (e^-), el oxígeno se considera un poderoso agente oxidante. En el interior de los átomos y moléculas, los electrones ocupan regiones conocidas como orbitales que son capaces de contener dos electrones, uno que gira en el sentido de las agujas del reloj y el otro que lo hace en sentido opuesto. Cuando un orbital contiene solo un electrón se dice que este se encuentra desapareado. Una especie atómica o molecular que posea un electrón desapareado se considera que es un radical libre. El propio oxígeno molecular (O_2) es un biradical porque posee dos electrones desapareados, cada uno en un orbital diferente, que giran en la misma dirección. Esto le da al oxígeno sus características de gas paramagnético y radical perezoso.

Otto Warburg, recipiendario en 1931 del Premio Nobel en Fisiología o Medicina, fue quien descubrió que nuestras células utilizan el oxígeno para convertir los alimentos en energía en un proceso enzimático. El Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1938, fue otorgado a Corneille Heymans, quien demostró que el cuerpo carotídeo en el cuello se comunica con el cerebro para detectar los niveles de oxígeno y cambiar el ritmo respiratorio. Desde principios del siglo XX se conoce que el bajo nivel de oxígeno provoca un aumento de la eritropoyetina (EPO), hormona que aumenta la producción de glóbulos rojos (eritropoyesis). La importancia del control hormonal de la eritropoyesis ya se conocía, pero se

desconocía el mecanismo que siguen las células para adaptarse a los cambios en los niveles de oxígeno.

■ Adaptación a variaciones del oxígeno. Hipoxia

Además de la rápida adaptación, antes citada, controlada por el cuerpo carotideo, y la EPO frente a bajas concentraciones de oxígeno (hipoxia), existen otras adaptaciones fisiológicas fundamentales. Así en los últimos años del siglo XX, Gregg L. Semenza estudió en ratones genéticamente modificados, la regulación del gen EPO en presencia de distintas concentraciones de oxígeno, y observó que unos segmentos específicos del DNA localizados en la proximidad del gen EPO, que llamó HRE por hipoxia regulatory element mediaban la respuesta a la hipoxia. Peter J. Ratcliffe estudió también la regulación O_2 -dependiente del gen EPO. Ambos grupos encontraron que el mecanismo sensor el oxígeno se encontraba no solo en el riñón sino en todos los tejidos. Estos hallazgos demostraban que este mecanismo era general y funcionaba en diferentes tipos de células.

Los organismos pluricelulares han desarrollado multitud de mecanismos para responder a bajas concentraciones de oxígeno. Los individuos sanos se enfrentan a estas situaciones cuando ascienden a grandes altitudes y entonces el organismo responde de tres maneras: liberando neurotransmisores por el cuerpo de la carótida para elevar la respiración, provocando la constricción vascular pulmonar para utilizar la sangre de las regiones más oxigenadas del pulmón, y produciendo eritropoyetina para incrementar la masa de eritrocitos y la concentración de hemoglobina de la sangre. La baja concentración de oxígeno es también una característica de muchas enfermedades: hipertensión pulmonar, enfermedad crónica obstructiva pulmonar, sepsis, isquemia miocárdica y cáncer.

El término *hipoxia* se aplica a la deficiencia en el aporte de oxígeno a las células y tejidos del organismo lo que ocasiona alteraciones en su normal funcionamiento. La hipoxia puede proceder del mal funcionamiento del sistema respiratorio, insuficiente flujo sanguíneo, bajos niveles de hemoglobina, etc.

En humanos, el oxígeno que respiramos se intercambia en los alveolos de los pulmones. Un 95% es enviado a los vasos capilares mediante un sistema alveolar-capilar, para unirse a la hemoglobina. El corazón bombea la sangre oxigenada a la periferia, lo cual es importante para que las células y los tejidos puedan

funcionar y realizar la fosforilación oxidativa. El insuficiente flujo de oxígeno activa una cascada señalizadora que promueve la activación de la transcripción de una multitud de genes implicados en eventos tales como eritropoyesis, angiogénesis (neo-vascularización), glucolisis, muerte celular, etc. Numerosas situaciones fisiopatológicas son producidas por hipoxia, entre ellas el cáncer, la anemia, el mal de montaña, etc.

Gracias a las investigaciones de Kaelin, Ratcliffe y Semenza se ha puesto de manifiesto que el organismo es capaz de percibir en cada momento los niveles de oxígeno que está recibiendo y con esa información, puede poner en marcha una serie de *respuestas adaptativas*. En caso de insuficiente suministro de oxígeno el organismo activa estas respuestas adaptativas que van dirigidas a tratar de aumentar su aporte y reducir su consumo.

La clave de la respuesta a la hipoxia se encuentra en el factor inducible por hipoxia (HIF). El HIF se sobreexpresa en una gran mayoría de cánceres mediante mecanismos dependientes e independientes de la hipoxia y su expresión se asocia con un mal pronóstico en los pacientes. Este conjunto de mecanismos adaptativos se denomina *respuesta a la hipoxia*. Esta respuesta se activa, por ejemplo, en las personas que viven en zonas de gran altitud, cuyo organismo consigue aumentar la cantidad de glóbulos rojos mediante una mayor producción de la hormona eritropoyetina (EPO) (figura 2).



Figura 2. HIF eleva su expresión exponencialmente cuando la pO_2 disminuye. La curva muestra un punto de inflexión alrededor del 4%-5% O_2 , que es la concentración del O_2 en tejidos humanos normales (Semenza 1997).

Los hallazgos de estos tres investigadores han establecido las bases que demuestran que la concentración de oxígeno afecta al metabolismo celular y a un número elevado de funciones fisiológicas, y han abierto nuevos horizontes para combatir trastornos relacionados con los mecanismos que regulan la disponibilidad de oxígeno. Hace tiempo que se conoce que los tumores utilizan la maquinaria reguladora de la respuesta al oxígeno en su propio beneficio, estimulando la formación de vasos sanguíneos y dirigiendo el metabolismo hacia una mayor proliferación de las células tumorales. En ese sentido, algunas terapias en estudio tienen como objetivo bloquear e interferir la estrategia utilizada por el cáncer.

■ **Regulador de la homeostasis del oxígeno: factor inducible por hipoxia (HIF)**

Gregg L. Semenza, a principios de los 90, comenzó a estudiar las variaciones de la actividad del gen que regula la EPO ante las fluctuaciones de oxígeno. Al tratar de encontrar los componentes celulares implicados en esta respuesta, consiguió identificar un complejo proteico clave en la respuesta celular a la falta de oxígeno, que denominó *factor inducible por hipoxia* (HIF).

Ratcliffe, a su vez, descubrió que los sensores que detectan los niveles de oxígeno se encontraban en las células de todos los tejidos, no solo en las células renales que producen EPO, como se creía hasta entonces.

Kaelin, al estudiar el síndrome Von Hippel-Lindau, enfermedad rara que se asocia con tumores renales, pudo descubrir paso a paso los mecanismos implicados en la cascada de la respuesta a la hipoxia.

Como hay diferentes patologías que se asocian a una deficiencia en el aporte de oxígeno, el conocimiento en profundidad de estos mecanismos puede favorecer o inhibir la activación de esa respuesta, lo que permite abordar problemas como la anemia, la diabetes, la disfunción vascular o la angiogénesis tumoral.

El factor inducible por hipoxia (HIF) es un factor de transcripción regulador de la adaptación celular a la falta de oxígeno. La transcripción de genes inducida por hipoxia promueve comportamientos típicos de los tumores, tales como angiogénesis, invasión, metástasis, desdiferenciación y aumento en el metabolismo glucolítico.

tico. Estos efectos están mediados, al menos en parte, por genes cuya expresión está gobernada por el factor inducible por hipoxia (HIF).

El HIF, el principal factor implicado en las respuestas adaptativas a cambios en la oxigenación de los tejidos, es un heterodímero que consiste en una subunidad lábil HIF-1 α , que depende del oxígeno cuya expresión se encuentra muy regulada, y una subunidad estable expresada constitutivamente HIF-1 β no dependiente del oxígeno, también denominada ARNT (transportador nuclear del receptor de hidrocarburos). La expresión de la subunidad HIF-1 α está determinada por el ritmo de su síntesis y degradación. La síntesis HIF-1 α está regulada por mecanismos independientes del oxígeno, mientras que su degradación se regula por mecanismos que dependen del oxígeno. Hasta la fecha se han identificado más de 100 genes cuya expresión se activa por el HIF.

Son de importancia relevante para el cáncer, cuatro grupos de genes cuya expresión se induce por el HIF-1 ya que codifican las proteínas siguientes: factores angiogénicos, transportadores de la glucosa y enzimas glucolíticos, factores de supervivencia y factores de invasividad.

La expresión de varios de los genes objetivo de HIF-1, tales como el factor de crecimiento vascular endotelial (VEGF), se induce por hipoxia en la mayoría de tipos celulares. Sin embargo, para la mayoría de los genes objetivo de HIF-1 α la expresión se induce por hipoxia de manera específica al tipo celular. Aunque la actividad del HIF-1 α se induce por hipoxia en casi todos los tipos celulares, el HIF- α por sí solo, no puede explicar esta expresión génica específica de cada tipo celular. Más bien, es la interacción funcional de HIF-1 α con otros factores de transcripción lo que determina el subgrupo de genes objetivo de HIF-1 α , que se activa en cualquier célula hipóxica particular. El HIF-1 α se considera un mensajero que se envía al núcleo para activar respuestas a la hipoxia a nivel transcripcional. Los detalles de esta respuesta son determinados por la programación del pasado (desarrollo) y el presente (fisiología) de cada célula. Como resultado, el número total de genes objetivo de HIF-1 α no puede averiguarse por análisis de uno o unos pocos tipos de células. Quizás del 1% al 5% de todos los genes humanos se expresan en respuesta a hipoxia en uno o más tipos celulares de manera dependiente de HIF-1. La heterogeneidad en la expresión de dichos genes se observa incluso entre líneas celulares que han derivado de cánceres del mismo tipo histológico.

El factor de transcripción α/β -heterodimérico HIF funciona cuando el nivel de oxígeno en el microambiente de los tejidos es bajo y no funciona cuando dicho nivel se eleva. Ciertas condiciones fisiopatológicas, tales como la isquemia y el cáncer encuentran bajos niveles en la oxigenación local tisular debidos a la vasculatura defectuosa o insuficiente. Las células tumorales muy proliferativas forman rápidamente masas que se localizan de tal manera alejadas de los vasos sanguíneos, que no alcanzan el aporte necesario de oxígeno y nutrientes. En tales condiciones, el HIF se activa y, a su vez, activa y/o reprime una amplia variedad de genes que tienen la capacidad de iniciar la formación de nuevos vasos sanguíneos y modificar el metabolismo. Así, se establecen las condiciones favorables para el desarrollo de la masa tumoral y su proliferación. El interés de la actividad HIF en el tratamiento del cáncer o de alteraciones isquémicas, tiene su base en la estimulación o represión de la transcripción de genes. La modulación de los genes estimulados por HIF, implicados en el metabolismo tumoral y en el control del pH intracelular, puede ser también de gran utilidad en la terapia del cáncer. Sin embargo, antes de intentar profundizar en la aplicación clínica es esencial poseer mayor conocimiento básico de las vías señalizadoras de HIF, y de los mecanismos moleculares que regulan HIF y alguna de las consecuencias biológicas de su acción en el metabolismo tumoral, crecimiento e invasión.

Semenza quería identificar los compomemtes celulares que median esta respuesta y utilizando células hepáticas en cultivo, consiguió descubrir que el complejo proteico HIF, se une a segmentos identificados del DNA de una manera dependiente del oxígeno. Los esfuerzos para purificar el complejo HIF hizo que Semenza fuera capaz de publicar alguno de sus hallazgos clave que incluían la identificación de los genes que codificaban HIF.

■ Degradación del HIF-1 α por el proteosoma. Intervención del VHL

Cuando la concentración de oxígeno es alta las células contienen poco HIF-1 α . Sin embargo, cuando el oxígeno disminuye el HIF-1 α se eleva y puede regular el gen EPO y otros genes uniéndose a segmentos del DNA. Se ha demostrado que el HIF-1 α , en condiciones normales (normoxia) se degrada rápidamente mediante el sistema ubiquitina proteosoma, sistema descubierto por Aaron Ciechanover, Avram Hershko e Irwin Rose (reconocidos con el Premio Nobel de Química 2004). Sin embargo, en condiciones de hipoxia el HIF-1 α está protegido de la degradación.

Para su degradación, el HIF-1 α tiene que asociarse a la *ubiquitina*, un pequeño péptido (muy difundido, de ahí su nombre), que funciona como señal para señalar a las proteínas destinadas a ser degradadas por el proteosoma. La manera en la que la ubiquitina se une al HIF-1 α y la dependencia del oxígeno de esta reacción degradativa permanece como cuestión central.

La respuesta vino por una dirección inesperada, ya que a la vez que Semenza y Ratcliffe exploraban la regulación del gen de la EPO, Kaelin, Jr. se ocupaba de un síndrome hereditario, la enfermedad de von Hippel-Lindau (enfermedad VHL). Esta enfermedad genética conlleva un riesgo elevado de ciertos cánceres en familias con mutaciones en el gen VHL. Kaelin demostró que el gen VHL codifica una proteína que previene la iniciación del cáncer y también demostró que las células cancerosas que carecían del gen VHL expresaban niveles anormalmente altos de genes regulados por la hipoxia. Cuando el gen VHL fue reintroducido en las células cancerosas se restauraron los niveles normales. Este fue un importante hallazgo que demostraba que VHL se encontraba implicado en el control de la respuesta a la hipoxia. Posteriores estudios de otros grupos demostraron que VHL forma parte de un complejo que marca a determinadas proteínas con ubiquitina para su degradación en el proteosoma. Ratcliffe y su grupo hicieron un descubrimiento clave ya que demostraron que VHL interaccionaba con el HIF-1 α y era requerido para su degradación en condiciones normales de oxígeno. Así descubrieron la conexión entre VHL y HIF-1 α .

El producto del gen *VHL* es una proteína multifuncional pVHL que posee la capacidad de formar un complejo ubiquitina ligasa que también contiene Elongin B, Elongin C, Cullin 2 (Cul2), y Ring Box 1 (RBX1). En este complejo, pVHL sirve como unidad de reconocimiento del sustrato. pVHL contiene dos lugares de acceso: el dominio alfa y el dominio beta. El primero recluta Elongins, Cul2, y RBX1, mientras que el segundo es un dominio de unión al sustrato.

■ Estructura molecular del HIF-1

Los estudios sobre el elemento de respuesta a la hipoxia del gen de la eritropoyetina condujo a Semenza y Wang, en 1992, al descubrimiento del HIF-1 y en 1995 a su aislamiento y purificación. La HIF-1 humana es una proteína compuesta por dos subunidades hHIF-1 α y hHIF-1 β (ARNT). La estructura de cada subunidad se muestra en la figura 3.



Figura 3. Estructura de las dos subunidades que forman el factor inducible por hipoxia humano (HIF-1). Los motivos bHLH y PAS son esenciales para la dimerización y unión al DNA. bHLH, dominio básico hélice-vuelta-hélice; PAS (Per-ARNT-Sim) dominio con repeticiones A y B. NLS, señales de localización nuclear; TAD, dominios de transactivación 1α (Brahimi-Horn y Pouyssegur 2007 modificado).

La estructura, muestra dos proteínas HIF bHLH-PAS implicadas en la respuesta a la hipoxia que poseen motivos bHLH y PAS, necesarios para la dimerización, cuya región básica es la que proporciona la unión específica al HRE (elemento de respuesta a la hipoxia), en la secuencia de reconocimiento 5'T/A/G-CGTGH-3'. La presencia de un sitio de unión al DNA para HIF-1 es necesaria, pero no suficiente para dirigir la expresión de genes en respuesta a la hipoxia, lo que sugiere que HIF-1 ha de interactuar con otros factores de transcripción que se unan al DNA en sitios adyacentes. PAS es un dominio (Per-Arnt-Sim) con sus repeticiones A y B que se encuentra en ambas subunidades. TAD, el dominio de transactivación, se encuentra en ambas subunidades en el extremo C-terminal, pero la subunidad hHIF-1α, posee otro dominio N-TAD más cercano al terminal N. Esta bicefalía en el dominio TAD no es corriente entre los factores de transcripción. El C-TAD de HIF-1α es el lugar de hidroxilación de la asparagina por FIH (factor inhibidor de HIF) que inhibe la actividad transcripcional de esta subunidad. Ambas subunidades poseen también motivos NLS o señales de localización nuclear en el terminal N, y hHIF-1α, posee otro NLS cercano al C terminal.

Regulación de la síntesis del HIF-1α

Los organismos aeróbicos están obligados a consumir oxígeno. Cuantas más células están presentes en un tejido más oxígeno se necesita. Cuando una célula se divide y da lugar a dos células hijas, el consumo de oxígeno se eleva. Por tanto no sorprende que las vías principales que transducen señales proliferativas y de supervivencia a partir de receptores de factores de crecimiento, induzcan

también la expresión de HIF-1 α como estrategia para el mantenimiento de la homeostasis del oxígeno. Las células proliferantes expresan VEGF, factor que estimula la angiogenesis para proporcionar la perfusión adicional requerida para mantener la oxigenación de un número mayor de células. Además, las células proliferantes utilizan preferentemente la ruta glucolítica en lugar del metabolismo oxidativo, para generar ATP. La inducción paralela de angiogenesis y glucolisis con la proliferación celular está mediada parcialmente por activación de la síntesis del HIF-1. La elevación del HIF-1 en respuesta a la estimulación de receptores de factores de crecimiento difiere en dos aspectos importantes de la elevación del HIF-1 α en respuesta a la hipoxia. Primero, mientras la hipoxia eleva HIF-1 α en todos los tipos celulares, la estimulación por factores de crecimiento induce la expresión de HIF-1 α de manera específica del tipo celular. Segundo, mientras la hipoxia se asocia con la menor degradación del HIF-1 α , los factores de crecimiento, citoquinas y otras moléculas señalizadoras estimulan la síntesis de HIF-1 α vía activación de la fosfatidilinositol 3-quinasa (PI3K) o de la proteína quinasa activada por mitógenos (MAPK) (figura 4). Estudios recientes con células de cáncer de mama (MCF-7) estimuladas con heregulina mostraron un incremento en la síntesis de HIF-1 α que fue inhibida por tratamiento con rapamicina, un antibiótico que inhibe la mTOR, quinasa que funciona más allá de la PI3K y la AKT. El efecto de la heregulina estuvo mediado vía la región 5'-no traducida del mRNA HIF-1 α . Los objetivos conocidos para la fosforilación por mTOR son reguladores de la síntesis proteica (figura 4). No obstante, no se sabe si la fosforilación de estas proteínas por mTOR es necesaria o suficiente para el incremento de la síntesis de HIF-1 α . La traducción de varias docenas de diferentes mRNA está regulada por esta vía. Las secuencias específicas en la región 5'-no traducida puede determinar el grado al cual la traducción de cualquier mRNA puede modularse por mTOR. La expresión de la proteína HIF-1 α es particularmente sensible a cambios en su ritmo de síntesis debido a su vida media extremadamente corta en condiciones no hipóxicas. Además de los efectos sobre la síntesis de HIF-1 α , la activación de la vía señalizadora RAF-MEK-ERK se ha demostrado que estimula la función del dominio de transactivación de HIF-1 α . Este efecto se debe, al menos en parte, a la fosforilación por ERK del coactivador p300, con el cual interaccionan los dominios de transactivación. A diferencia de la hipoxia, que induce la estabilidad y actividad transcripcional de HIF-1 α en todos los tipos celulares, la regulación de la actividad HIF-1 por señalización por factores de crecimiento es específica de la célula. Por ejemplo, en células MCF-7, la heregulina induce la síntesis proteica de HIF-1 α , pero no induce la función del dominio de transactivación, mientras que el tratamiento

de células de cáncer de próstata (PC-3) con rapamicina inhibe la estabilidad y la función del dominio de transactivación del HIF-1 α . Las mutaciones oncogénicas que activan las vías de transducción de señales, inducen la actividad de HIF-1 α por varios mecanismos.

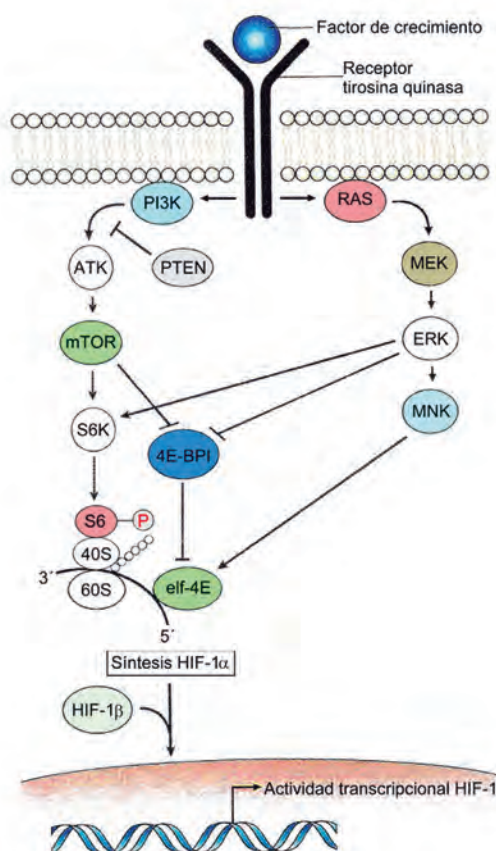


Figura 4. Regulación de la síntesis de la proteína HIF-1 α . La unión de un factor de crecimiento al receptor tirosina quinasa activa las vías fosfatidilinositol-3-quinasa (PI3K) y proteína quinasa activada por mitógenos (MAPK). PI3K, a su vez, activa la serina/treonina quinasa (ATK) y mTOR. En la vía MAPK, la quinasa regulada por señales extracelulares (ERK) se activa por la quinasa MAP/ERK (MEK). ERK, a su vez, activa MNK. ERK y mTOR fosforilan p70S6 quinasa (S6K), que fosforila a la proteína ribosómica S6, y a la proteína de unión al factor de iniciación de la traducción eucariótica 4E (elf-4E) (4E-BP1). La unión de 4E-BP1 a elf-4E inactiva a la última, al inhibir la traducción dependiente de mRNA. La fosforilación de 4E-BP1 previene su unión a elf-4E y estimula su actividad directamente. El efecto de la señalización por el factor de crecimiento se refleja en un incremento en el ritmo al cual un subgrupo de mRNA en la célula, incluyendo HIF-1 α mRNA, se traducen en proteínas (Semenza 2003, con modificaciones).

Las mutaciones de pérdida de función en genes supresores de tumores se asocian con mayor actividad de HIF-1. Entre estas, el efecto más marcado se observa en carcinomas renales de células claras (RCC) y en hemangiomas cerebelares que han perdido la función VHL. La pérdida de la función VHL origina una elevación notable en la actividad HIF-1 en condiciones no hipóxicas debido a la alteración en la ubiquitinación y posterior degradación por el proteosoma del HIF-1 α y HIF-2 α . Aunque la regulación, dependiente del O₂, de la función de transactivación está todavía intacta, HIF-1 puede llegar a ser limitante en condiciones de sobreexpresión de HIF-1 α y HIF-2 α , que conducirían a un incremento en HIF-1 transcriptionalmente activo en condiciones no hipóxicas en células carentes de VHL. Para algunos otros oncogenes y genes supresores de tumores, la mutación no solo tiene un efecto marcado en la progresión al cáncer, sino también sobre la actividad HIF-1. Algunos de los factores de crecimiento más notables, el factor de crecimiento insulínico 2 (IGF2) y el factor transformante del crecimiento alfa (TGF α), son también genes objetivos de HIF-1. La unión de estos factores a sus receptores –el receptor del factor de crecimiento insulínico 1 (IGF1R) y el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR), respectivamente– activan vías de transducción de señales que conducen a la expresión de HIF-1 α y a la proliferación y supervivencia celulares. Por tanto, HIF-1 contribuye a las vías de señalización autocrinas que son cruciales para la progresión al cáncer. Los mecanismos que conducen a los elevados niveles de HIF-1 α han sido esclarecidos mediante experimentos en líneas celulares cancerosas y se han complementado con demostraciones inmunohistoquímicas de sobreexpresión de HIF-1 α en biopsias de cáncer humano.

Cambios post-traduccionales en el HIF-1 α

La señalización vía HIF-1 α requiere múltiples modificaciones post-traduccionales. Estas modificaciones son las que regulan la vida media del HIF-1 α , su desestabilización y degradación. Entre estos cambios post-traduccionales cabe citar: las prolina hidroxilasas, la unión a la proteína VHL, la hidroxilación de la asparagina, la acetilación de la lisina y la acción de las quinasas.

Prolina hidroxilasas y desestabilización del HIF-1 α

Dos prolina hidroxilasas (PH) dependientes de oxígeno, hidroxilan la subunidad alfa del heterodímero HIF α/β , y determinan su estabilidad y actividad. La hidroxilación de los residuos de prolina en el dominio de degradación, dependiente de oxígeno (ODDD) del HIF-1 (prolinas 402 y 564 del HIF-1 α humano), por las PH

señala la unión del HIF-1 α a un complejo ubiquitina ligasa E3 que contiene la proteína von Hippel-Lindau (VHL) (figura 5). VHL junto con un grupo de proteínas, elongina B elongina C, Cul 2 y Rbx-1, regula la vida media de HIF-1 α en células bien oxigenadas. La interacción del HIF-1 α con VHL se acelera por acetilación del residuo lisina en 532, mediante una acetil transferasa (ARD1). La eliminación del HIF-1 α ocurre mediante ubiquitinación post traduccional y posterior reconocimiento por la maquinaria destructora del proteosoma (figura 5).

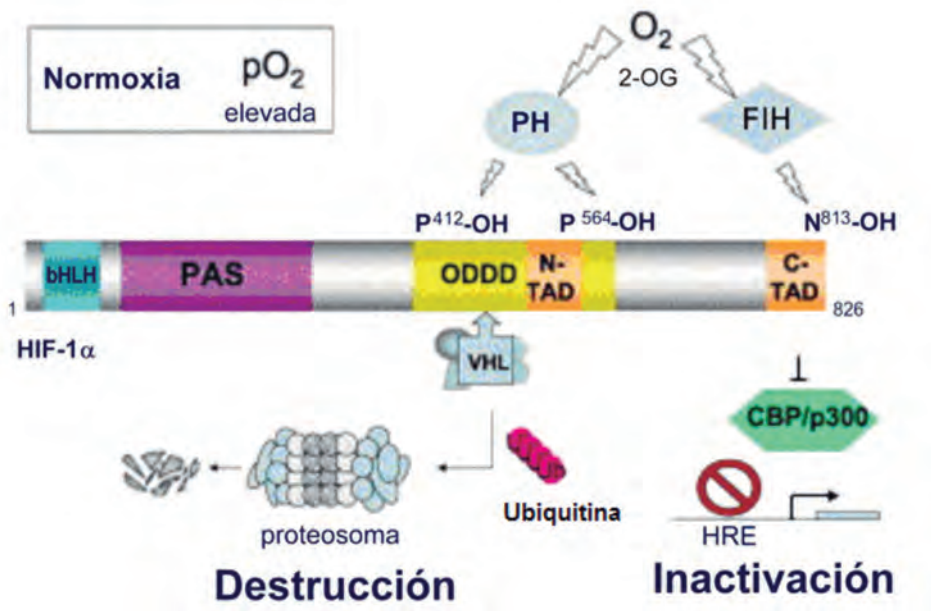


Figura 5. La hidroxilación es la clave de la regulación de HIF- α . En condiciones normoxicas (niveles elevados de pO₂) la prolil hidroxilasa (PH) y el factor inhibidor de HIF-1 (FIH) son activos. Estas dioxigenasas usan oxígeno y 2-oxoglutarato (2-OG), para hidroxilar dos residuos prolina situadas en el dominio de degradación dependiente de oxígeno (ODDD) y un residuo asparagina en el dominio de activación transcripcional C-terminal (C-TAD del HIF-1 α). La hidroxilación de las prolinas señala la unión a la proteína von Hippel-Lindau (VHL), que contiene el complejo ubiquitina ligasa E3 que ubiquitina HIF-1 α marcándolo para su destrucción por el proteosoma. La hidroxilación del residuo asparagina promueve la interacción con un co-activador CBP/p300 que modula la respuesta del HIF-1 α (Brahimi-Horn y Pouyssegur 2007 modificado).

La PH, de la que existen tres isoformas se regula a varios niveles. La concentración de oxígeno, no solo determina la actividad PH sino también su expresión, ya que los genes *phd2* y *phd3*, pero no *phd1*, se regulan por hipoxia/HIF. Esta regulación *feedback* asegura la rápida intervención cuando la concentración de oxígeno se resta-

blece a un nivel elevado. Al igual que ocurre con HIF- α , la PH está sometida a la degradación por el sistema ubiquitina-proteosoma, pero por diferentes ubiquitina E3 ligasas, Siah1 y Siah2, las cuales a su vez, son también reguladas por HIF. Además del oxígeno elevado, las proteínas PH requieren 2-oxoglutarato (2-OG) como co-sustrato y ascorbato y Fe²⁺ como cofactores. El 2-OG es un metabolito del ciclo tricarboxílico (TCA), cuya concentración está regulada por el propio ciclo TCA. Para añadir otro nivel de complejidad, el succinato producido por la reacción hidroxilasa y por el ciclo TCA actúa como inhibidor. Es interesante destacar que las mutaciones en enzimas del ciclo TCA, tales como la succinato deshidrogenasa (SDH) y la fumarato hidratasa (FH), se encuentran conectadas con la tumorigénesis. SDH y FH han sido identificadas como supresores de tumores y la pérdida de función por mutaciones conduce a la acumulación de succinato y fumarato, respectivamente. En estas condiciones el HIF-1 α se encontraría en situación estable, se traslocaría al núcleo, donde al formar complejo con el HIF-1 β y unirse al HRE, realizaría su misión de activar/reprimir genes.

La asparragina hidroxilasa inactiva HIF-1 α

Si por cualquier razón el flujo de acontecimientos que conducen a la destrucción de HIF-1 α es incompleto o defectuoso, y alguna proteína HIF-1 α escapa de la degradación, la actividad HIF-1 α será, inhibida por otra hidroxilasa dependiente de oxígeno, denominada factor inhibidor de HIF-1 (FIH). La hidroxilación por este enzima se verifica en un residuo asparragina 813, situado en el dominio de activación transcripcional, que se encuentra en el terminal C (C-TAD) de la subunidad HIF-1 α , con la inhibición resultante de la interacción con las proteínas de unión (CBP) a los coactivadores transcripcionales (CREB) y p300. (Figura 5). Así que, las células han desarrollado un mecanismo adicional en el caso de malfuncionamiento de las PH, aunque esto puede reflejar también un mecanismo para la inducción selectiva de genes. En caso de hipoxia, o en condiciones de elevadas concentraciones de especies reactivas de oxígeno, estos enzimas no funcionan y el HIF-1 α es estable y tiene la capacidad de translocarse al núcleo donde interacciona con la subunidad beta. El complejo dimérico HIF α/β se une entonces a los elementos responsables de la hipoxia (HRE) de los genes cuya transcripción va a ser regulada. Cada vez son más los genes identificados. Los más investigados son aquellos implicados en la angiogénesis, vasodilatación/respiración, eritropoyesis, metabolismo anaeróbico, invasión tumoral y supervivencia/muerte celular (figura 6), pero cada vez se está dedicando más interés a los genes implicados en otras funciones como la inflamación y diferenciación en el desarrollo embrionario.

Las quinasas activan HIF-1 α

HIF-1 α y HIF-2 α son fosforilados por determinadas quinasas, y la fosforilación es paralela a un incremento en su actividad transcripcional. La fosforilación no ejerce influencia sobre la estabilidad del HIF-1 α o su capacidad de unión al DNA, pero puede favorecer la heterodimerización con HIF-1 β o la interacción con co-activadores. La vía Ras-Raf-ERK/MAPK está implicada en la activación, favoreciendo posiblemente la interacción entre HIF y sus co-activadores y/o modulando la actividad de dichos coactivadores.

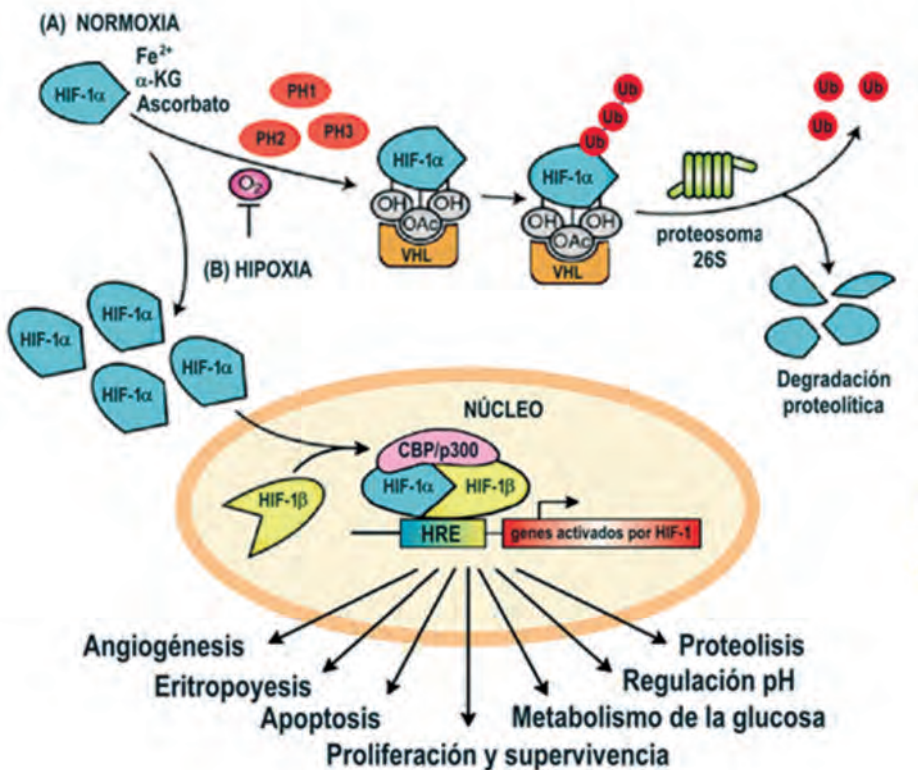


Figura 6. Regulación de la actividad de la HIF-1 α por hidroxilación de las prolinas (A) En las condiciones de normoxia la PH hidroxila los residuos de prolina 402 y 504 de HIF-1 α . Esta hidroxilación causa la unión del HIF-1 α al supresor tumoral VHL (Von-Hipel-Lindau) y promueve la ubiquitinación de HIF-1 α y su degradación por el proteosoma. (B) En condiciones de hipoxia HIF-1 α se estabiliza, se trasloca al núcleo donde heterodimeriza con HIF-1 β y se une al HRE donde activa la expresión de genes implicados en la angiogénesis, eritropoyesis, apoptosis, proliferación y supervivencia, proteólisis, regulación del pH y metabolismo de la glucosa (Carrol y Ashcraft 2005 modificado).

■ Desplazamiento del equilibrio

Aunque hasta aquí muchas piezas del puzzle habían sido colocadas en su sitio, lo que faltaba por descubrir era de qué manera la concentración del O_2 regulaba la interacción entre VHL y HIF-1 α . La investigación se enfocó en una porción específica de la proteína HIF-1 α , conocida por ser importante para la degradación del HIF-1 α dependiente del VHL, y tanto Kaelin como Ratcliffe sospecharon que la clave de la percepción de los niveles de O_2 residía en algún lugar de este dominio proteico. Dos artículos publicados simultáneamente en 2001 demostraron que en condiciones normales de oxígeno, se adicionan grupos hidroxilo a dos residuos específicos de prolina del HIF-1 α (figura 5). Esta modificación proteica catalizada por la prolina hidroxilasa, permitía al VHL reconocer y unirse al HIF-1 α . Así se explica que en condiciones normales de oxígeno, este elemento controla el HIF-1 α con ayuda de enzimas sensibles al oxígeno como las hidroxilasas de la prolina. Posteriores estudios de Ratcliffe identificaron estas prolina hidroxilasas y también demostraron que la función activadora de genes del HIF-1 α se regulaba por la hidroxilación dependiente de oxígeno.

En resumen, la hipoxia activa una vía de señalización gobernada por el HIF (figura 6). En caso de normoxia los residuos de prolina del HIF-1 α se hidroxilan por las prolina hidroxilasas dependientes de oxígeno (PHD). La proteína Von Hippel–Lindau (pVHL), que forma complejo con una E3 ubiquitina ligasa, se une al HIF- α hidroxilado y actúa como componente que reconoce al sustrato y lo conduce a la degradación por el proteosoma. Residuos de asparagina del HIF- α son también hidroxilados por factores que inhiben la unión del HIF con los coactivadores p300/CREB.

■ Eritropoyetina (EPO) y eritropoyesis

Un medio primario de incrementar de manera sistemática el O_2 en los tejidos es elevar la generación de eritrocitos (eritropoyesis), dado que estas células son las responsables del transporte del O_2 , desde los pulmones a todos los tejidos del organismo, previa unión a la hemoglobina. La síntesis de la hemoglobina en las células progenitoras eritroides requiere hierro. El intestino incorpora el hierro de los alimentos y lo envía a la médula ósea para la producción de eritrocitos que depende de la expresión, mediada por el HIF, de una serie de genes entre los que se encuentran el *EPO*, que codifica la eritropoyetina (hormona que estimula la supervivencia, proliferación y diferenciación de las células progenitoras eritroides)

y *EPOR* que codifica el receptor EPO en las células progenitoras eritroides. Así, HIF activa de manera coordinada la transcripción de múltiples genes requeridos para una simple respuesta fisiológica; en este caso HIF regula al menos 8 genes que codifican proteínas que median la eritropoyesis.

La *eritropoyetina*, es la hormona glucoproteica de la eritropoyesis y la vascularización, cuya función principal es la regulación de la producción de glóbulos rojos de la sangre y con ello todos los procesos relacionados con la formación de energía por vía aeróbica. Esta función, tan importante para el mantenimiento de la vida, es lo que ha dado lugar a un gran desarrollo en el conocimiento de la eritropoyetina y a su síntesis mediante técnicas recombinantes.

En humanos y otros mamíferos la eritropoyesis procede en condiciones basales bajas en las que los eritrocitos senescentes se reemplazan con reticulocitos jóvenes. En humanos la producción de eritrocitos puede elevarse hasta ocho veces la línea base en una variedad de experimentos clínicos de hemorragia, hemolisis y otros tipos de situaciones que alteran la oxigenación de la sangre arterial o el envío de oxígeno a los tejidos. La EPO es el mediador primario y probablemente el único, de la inducción hipóxica de la eritropoyesis. Durante el desarrollo fetal la EPO se produce en su mayor parte por el hígado. Sin embargo, después del nacimiento es el riñón el órgano que produce la mayor parte de la EPO.

Por tanto, la eritropoyetina se sintetiza en riñón (90%) y en hígado (10%) y su misión es aumentar la masa eritrocitaria y el hematocrito. La expresión del gen EPO se estimula en hipoxia (HIF1), el estímulo de la eritropoyesis y del metabolismo del hierro aumenta la producción de glóbulos rojos y hemoglobina y eleva el transporte de oxígeno de la sangre. Estas acciones producen una mejora el consumo de oxígeno y la resistencia y en el rendimiento y la recuperación tras esfuerzos de cualquier intensidad.

Aunque una de sus principales funciones de la EPO es el mantenimiento de la capacidad de transporte de oxígeno, posteriores trabajos han observado que actúa también a otros niveles. Se han encontrado receptores de EPO en tejidos no hematopoyéticos, como el Sistema Nervioso Central (SNC), donde tiene un efecto neurotrófico y neuroprotector que previene la muerte de las neuronas ante el estímulo hipóxico. Este efecto neuroprotector ha sido confirmado en investigación clínica, en pacientes con infarto cerebral agudo. EPO sobre los vasos sanguíneos,

estimula la angiogénesis y la producción de endotelina y otros mediadores vasoactivos. Igualmente existen receptores de EPO en los cardiomiocitos.

La regulación de la producción de la EPO se realiza en base a los cambios en el HIF producidos por las variaciones de la concentración de oxígeno a nivel celular. Hay que significar que no solo las bajas concentraciones de oxígeno producen una estimulación en la producción del HIF, sino que dicho HIF también aumenta cuando varía la concentración de oxígeno desde una situación de hiperoxia a una situación de normoxia. Por tanto no responde exclusivamente a bajas concentraciones de oxígeno, sino también a variaciones bruscas en las que desciende la concentración de oxígeno. El aumento en la oxigenación de los tejidos, paralela a unos niveles altos de hemoglobina en sangre y a una concentración normal de oxígeno en el ambiente, va a dar lugar a una inhibición en la síntesis de EPO y a una disminución de sus valores en sangre. El aumento en la oxigenación es interpretado por el Sistema Nervioso Central como un exceso a corregir, y como no se puede modificar la concentración de O_2 del ambiente, la respuesta es una disminución en la producción de EPO que da lugar a una disminución en la síntesis de hemoglobina. Si persiste esta situación, nos vamos a encontrar a medio plazo con un descenso de la hemoglobina y del resto de parámetros relacionados con la serie roja, como eritrocitos y hematocrito. Es lo que sucede tras una estancia prolongada en altitud, o tras la utilización de EPO recombinante, que provoca un incremento de todos los parámetros hematológicos relacionados con el transporte de O_2 en una relación dosis-dependiente. En ambos casos se produce una disminución en los niveles de EPO circulante y de la eritropoyesis.

La disminución en la oxigenación de los tejidos, que viene dada por la hipoxia natural (altitud) o por un estado anémico o una hemorragia en el que se produce una disminución del contenido de hemoglobina, da lugar a la estimulación en la síntesis de EPO. El aumento en su concentración va a ser tanto más rápido cuanto mayor sea el grado de hipoxia, o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea la altitud, bien sea real o simulada. Este aumento de la concentración de EPO estimula la producción de hemoglobina, y si se mantiene en el tiempo dará lugar a cambios hematológicos que se traducen en un aumento de la capacidad de transporte de oxígeno y con ello en una mejora del rendimiento físico proporcional al aumento de la hemoglobina.

EPO se usa para tratar la anemia, enfermedad causada por escasez de glóbulos rojos, cuyos síntomas son debilidad, fatiga y falta de aliento. La EPO estimula a la

médula ósea a producir más glóbulos rojos. Los pacientes que pueden beneficiarse de la EPO incluyen los que padecen enfermedad renal crónica, anemia, SIDA o una amplia variedad de trastornos hematológicos (incluyendo mieloma múltiple y síndromes mielodisplásicos), y algunos pacientes con cáncer que están anémicos por recibir quimioterapia. En determinados pacientes la EPO puede usarse para reducir la necesidad de transfusiones de sangre.

Los pacientes con enfermedad pulmonar o los que viven en grandes altitudes, requieren un aumento en los glóbulos rojos para compensar los bajos niveles de oxígeno en la sangre y producen eritropoyetina.

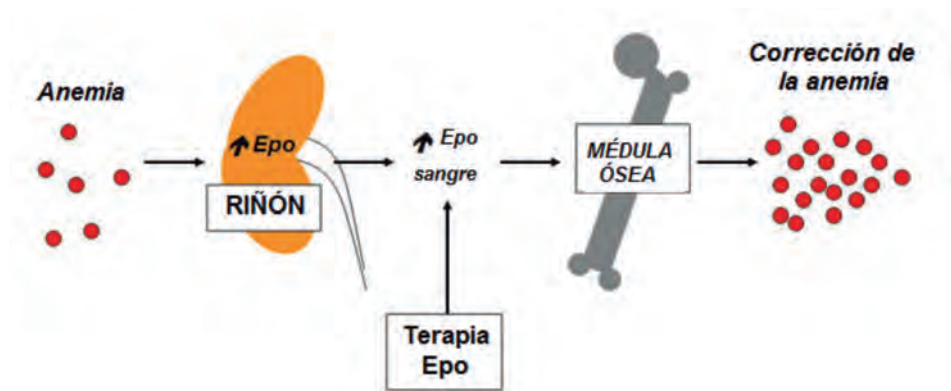


Figura 7. La eritropoyetina humana recombinante (rHEpo) se usa para tratar la anemia al estimular a la médula ósea para producir eritrocitos. La rH Epo es estructuralmente idéntica a la Epo nativa. Figura cortesía de H Franklin Bumm.

■ HIF en la terapia del cáncer

Es mucho el interés que despierta la inhibición de la angiogenesis (anti-angiogénicos) para el tratamiento del cáncer y por el contrario, la activación de la angiogénesis (pro-angiogénicos) en el tratamiento de patologías isquémicas. Métodos para inhibir la angiogénesis, como vías para eliminar la vía vascular para los tumores, están en la actualidad mostrando resultados estimulantes en clínica. Sin embargo, la mayoría de los fármacos antiangiogénicos se dirigen al gen inducido por HIF, que codifica el VEGF, más que al mismo HIF. Dada la plétora de genes inducidos o reprimidos por HIF ha de ser interesante abordar los objetivos inducidos por este factor, que hacerlo con el mismo HIF, aunque esto está abierto

a discusión. Como el HIF juega un papel beneficioso y protector en la respuesta inflamatoria, su inhibición puede conducir a efectos no deseados. Incluso la activación de la expresión de genes implicados en la angiogénesis puede aumentar la hipoxia tumoral e incrementar la metástasis. No obstante, la activación de un gen tal como el *vegf* puede también conducir a modulación beneficiosa de la producción de eritropoyetina y eritropoyesis. Sin embargo, un número sustancial de pequeñas moléculas inhibidoras o activadoras de HIF está siendo investigado para el tratamiento del cáncer o enfermedad isquémica y sus efectos beneficiosos/perjudiciales esperan la confirmación clínica. La inhibición puede dirigirse a diferentes niveles de la vía señalizadora de HIF, incluyendo el bloqueo: vías de señalización que favorecen la acumulación de HIF, la síntesis de HIF, la unión de HIF a las secuencias HRE en los promotores/intensificadores endógenos, heterodimerización con HIF- β , interacción con co-activadores y la estimulación de la degradación mediada por VHL. Así, el camino más eficiente para conseguir la inhibición aún no se ha definido. Como alternativa, los tratamientos para el cáncer pueden también surgir por manipulación de las consecuencias ambientales de la hipoxia/HIF, por ejemplo, mediante la exacerbación de la acidosis metabólica o la muerte celular necrótica. Los fármacos citotóxicos, dependiendo de su dosis, y los agentes que alteran los sistemas vasculares pueden independientemente movilizar las células progenitoras endoteliales circulantes, derivadas de la médula ósea, hacia los tumores, que pueden contribuir al nuevo crecimiento del tumor, el cual, sin embargo, puede ser reprimido por tratamiento antiangiogénico. Terapias de combinación, utilizando fármacos citotóxicos clásicos unidos a agentes antiangiogénicos o agentes que alteren el sistema vascular han de prevalecer donde el momento de administración y la dosis han de ser críticos para evitar respuestas adversas. El tratamiento de las enfermedades isquémicas, tales como el ictus y el infarto de miocardio puede encontrarse en la inhibición de la degradación de HIF mediante la hidroxilación por los sensores de oxígeno PH y FIH o mediante la activación de ciertas vías señalizadoras que conducen a un estable y activo HIF, el cual, a su vez, puede favorecer la angiogénesis.

Una gran cantidad de conocimientos se han adquirido en los últimos años sobre los mecanismos de la señalización en condiciones de hipoxia mediante HIF y la prueba de estos estudios muestran un futuro prometedor en el tratamiento del cáncer y enfermedades isquémicas por modulación de la actividad del HIF.

Además de los papeles importantes en el desarrollo, hematopoyesis y enfermedades isquémicas, el HIF posee además un amplio rango de efectos en

la biología tumoral. Estos son directamente responsables de la angiogénesis y metástasis tumorales y contribuyen de manera sustancial a cambios metabólicos, la evasión de la apoptosis y la inestabilidad genómica. A pesar de la apreciación de su relevancia en la biología tumoral, nuevos objetivos y mecanismos se describen frecuentemente. Su inhibición farmacológica representa una oportunidad y un desafío, y una importante área de estudio en el futuro.

■ Oxígeno: fisiología y patología

Gracias a las investigaciones de estos tres laureados, con el Nobel 2019, se conoce hoy mucho más acerca de cómo los procesos fisiológicos son regulados por las fluctuaciones del oxígeno. La capacidad de percibir dichas fluctuaciones permite a las células adaptar su metabolismo a los bajos niveles de oxígeno: Un ejemplo es la adaptación de los músculos durante ejercicio intenso. Otro ejemplo es la generación de nuevos vasos sanguíneos y la producción de nuevos eritrocitos. Nuestro sistema inmune y muchas otras funciones fisiológicas se ajustan mediante la maquinaria sensora del O_2 . Esta función se ha demostrado que es esencial durante el desarrollo embionario para el control de la formación de los vasos sanguíneos y el desarrollo de la placenta.

La percepción del oxígeno es fundamental frente a un gran número de enfermedades. Por ejemplo, pacientes con fallo renal crónico, sufren de severa anemia debido a una menor producción de EPO, por ser las células del riñón donde se produce la mayor parte de la EPO que es esencial para el control de la producción de los eritrocitos. Los mecanismos reguladores del oxígeno ejercen una misión importante en cáncer, pues los tumores los utilizan en su propio beneficio estimulando la formación de nuevos vasos sanguíneos y modificando el metabolismo de manera que resulte favorecida la proliferación de las células cancerosas. Los esfuerzos de los laboratorios de investigación y las compañías farmacéuticas se dirigen ahora a nuevos fármacos que interfieran con estas vías.

El HIF se encuentra activo en multitud de cánceres con mal pronóstico y contribuye a su malignidad. Se ha observado que el cáncer muestra baja oxigenación y gran capacidad para adaptarse a la hipoxia, lo que es esencial para el crecimiento tumoral. Ante una proliferación celular incontrolada se forman masas con alto grado de hipoxia alejadas de los vasos, se induce el HIF y con ello la angiogénesis, lo que conduce a crear las condiciones favorables para el desarrollo tumoral, in-

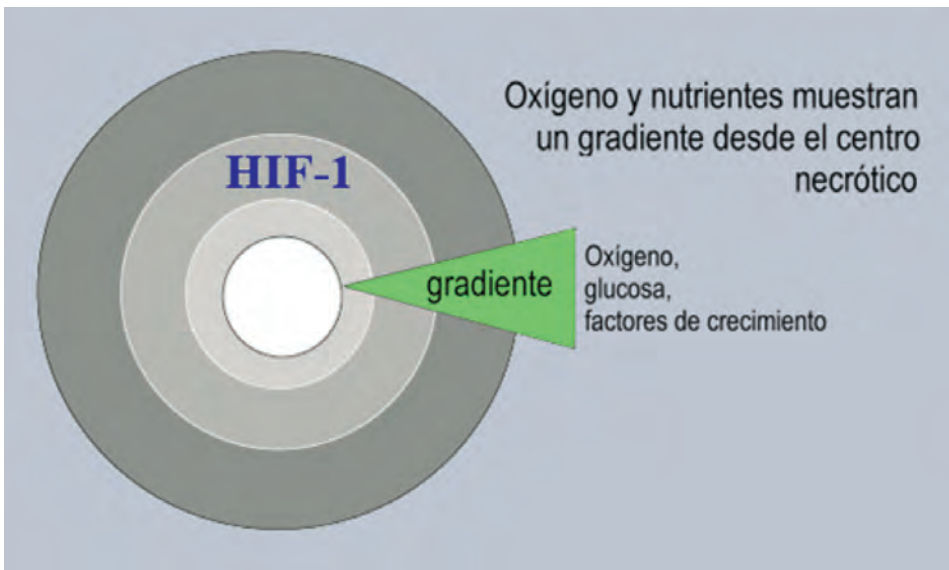


Figura 8. Esquema del corte de un tumor. Las células tumorales se desarrollan en un medio bajo en oxígeno y nutrientes. Las células tumorales proliferan más rápidamente que las normales. Por tanto, la capacidad de las células tumorales a adaptarse a la hipoxia es esencial para el crecimiento tumoral.

vasión y metástasis. Inhibir la inducción del HIF puede ser de gran utilidad en la terapia del cáncer.

En los últimos años se ha adquirido gran cantidad de conocimientos sobre los mecanismos de la señalización en condiciones de hipoxia mediante HIF, que muestran que la modulación de la actividad del HIF presenta un futuro prometedor en el tratamiento del cáncer y enfermedades isquémicas. Además del papel importante que juega el HIF en el desarrollo, hematopoyesis y enfermedades isquémicas, este factor posee además un amplio rango de efectos responsables de la angiogénesis y metástasis tumorales y contribuyen de manera sustancial a cambios metabólicos, la evasión de la apoptosis y la inestabilidad genómica. A pesar de su relevancia en la biología tumoral, nuevos objetivos y mecanismos se están describiendo frecuentemente y se ha verificado que su inhibición farmacológica representa una oportunidad y un desafío, y una importante área de estudio en el futuro. Un fármaco que influye en las vías moleculares identificadas por los premiados ha sido aprobado en China para el tratamiento de la anemia que actúa mediante la amplificación de la actividad de los eritrocitos. Otros fármacos, en relación con estos trabajos, están también en estudio para el tratamiento de

ciertos cánceres. Los tumores a menudo presentan bajos niveles de oxígeno y alguno de ellos generan vías que anulan el sistema del HIF generando a los vasos sanguíneos para apoyar su rápido crecimiento.

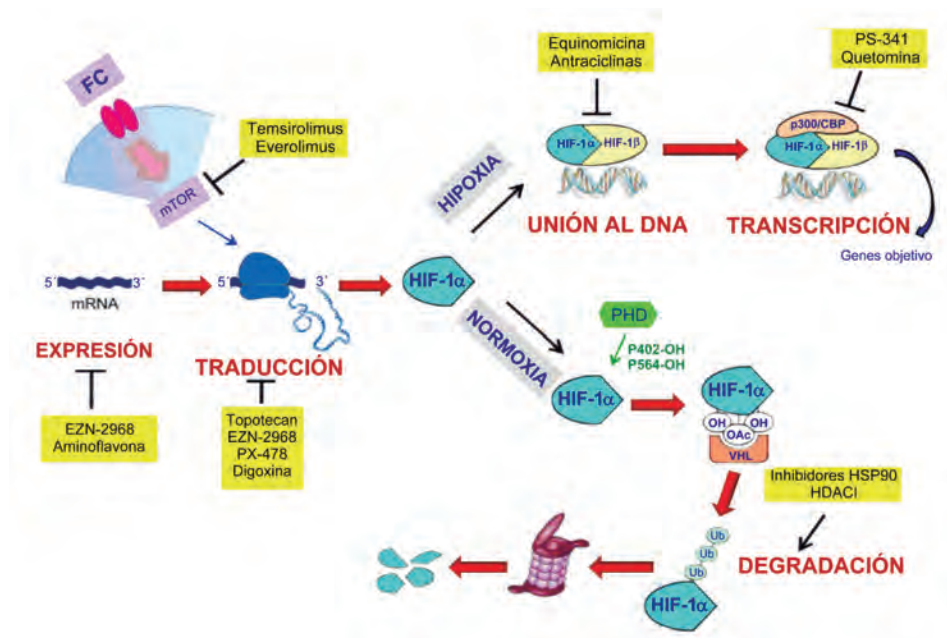


Figura 9. Inhibidores de la actividad del HIF-1α en la terapia del cáncer (Onnis et al 2009).

Mecanismos para la inhibición de HIF

Los inhibidores de la actividad HIF pueden ser divididos en agentes que modulan los siguientes procesos: expresión del HIF-1α mRNA; traducción de la proteína HIF-1α; degradación de la proteína HIF-1α; unión del HIF-1α al DNA; y actividad transcripcional del HIF-1α. Los Oligonucleótidos antisentido dirigidos a HIF1 mRNA: EZN-2968 y el Ligando del receptor AhR, *aminoflavona* pertenecen al primer tipo. Entre los Inhibidores de la traducción pueden considerarse *Topotecan* inhibidor de la topoisomerasa, *PX-478* y *Digoxina*. Inhibidores de la HSP90 y HDAC actúan en el proceso de degradación. *Galdanamicina* induce la degradación independiente del VHL (en hipoxia y normoxia).

Entre los Inhibidores de la unión al DNA (HRE) se encuentran: *Equinomicina*, péptido cíclico de la familia de quinoxalina y Doxorubicina y *Daunorrubicina* como

Inhibidores de la actividad transcripcional. *Quetomina* (unión con el coactivador p300) y *Bortezomid*.

El aumento de función de HIF, producido por fármacos, puede tener aplicación en una variedad de enfermedades ya que HIF se ha mostrado esencial en fenómenos tan diversos como la función inmune, la formación de cartílago y la cicatrización de heridas. Inversamente la inhibición de la función de HIF puede tener muchas aplicaciones. Se han visto incrementos de HIF en algunos cánceres así como en algunas enfermedades cardiovasculares, incluido infarto e hipertensión pulmonar. Es probable que estemos solo al principio del comienzo de aplicaciones ya que es claro que la respuesta al oxígeno en células, tejidos y organismos es una de las principales adaptaciones de todos los animales.

■ Perfil Biográfico de los laureados

William G. Kaelin, Jr.



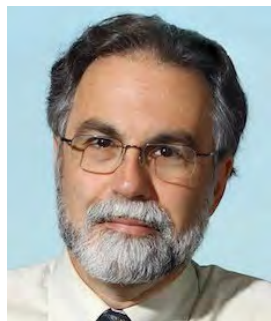
William G. Kaelin, Jr. nació en 1957 en Nueva York. Obtuvo el grado de Doctor en Medicina (MD) en la Universidad de Duke, Durham. Realizó el internado y la especialidad en Medicina Interna y Oncología en la Universidad Johns Hopkins, Baltimore, y en el Dana-Farber Cancer Institute, Boston. Se estableció como Investigador independiente en el Dana-Farber Cancer Institute y ascendió a Catedrático en Harvard Medical School en 2002. Es también Investigador del Howard Hughes Medical Institute desde 1998.

Sir Peter J. Ratcliffe



Sir Peter J. Ratcliffe nació en 1954 en Lancashire, U.K. Estudió Medicina en la Universidad de Cambridge, Gonville y Caius College. Hizo su internado y especialización en Nefrología en Oxford. Se estableció como grupo de investigación independiente en la Universidad de Oxford y llegó a Catedrático en 1996. Es Director de Investigación Clínica en Francis Crick Institute, London, Director de Investigación en Oxford y miembro de Ludwig Institute de Investigación en Cáncer.

Gregg L. Semenza



Gregg L. Semenza nació en 1956 en Nueva York. Obtuvo el grado en Biología en la Universidad de Harvard, Boston. Posteriormente realizó el Doctorado (MD/PhD) en la Universidad de Pennsylvania, School of Medicine, Philadelphia en 1984, y se especializó en Pediatría en la Universidad de Duke, Durham. Trabajó como investigador postdoctoral en Johns Hopkins University, Baltimore, donde se estableció como grupo de investigación independiente. Llegó a Catedrático en Johns Hopkins University en 1999 y desde 2003 es Director del Programa de Investigación Vascular en el Johns Hopkins Institute for Cell Engineering.

■ Bibliografía

- Bishop, T. y Ratcliffe, P.J. (2014). Signaling hypoxia by hypoxia-inducible factor protein hydroxylases: a historical overview and future perspectives.
- Boticario, C. y Cascales, M. (2008). Factor inducible por hipoxia y cáncer. En: Innovaciones en cáncer (eds. Boticario C y Cascales M) UNED Madrid pp. 391-414.
- Boticario, C. y Cascales, M. (2010). Hipoxia y Cáncer. Anal Real Acad. Farm. 76, 379-408 Revisión.
- Coleman, M.L.¹ y Ratcliffe, P.J. (2007). Oxygen sensing and hypoxia-induced responses. *Essays Biochem.* 43:1-15.
- Coleman, M.L. y Ratcliffe, P.J. (2010). Angiogenesis escape from hypoxia. *Nature Med* **15**, 491-493.
- Franklin Bunn, H. (2013). Erythropoietin. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 3: a011619.
- Gerschman, R., Gilbert, D.L., Nye, SW, Dwyer, P. y Fenn, WO (1954). Oxygen poisoning and X-irradiation: A mechanism in common. *Science* **119**, 623-629.
- Gille, G. y Sigler, K. (1995). Oxidative stress and living cells. *Folia Microbiol* **40**, 131-152.
- Halliwell, B. y Gutteridge, J.M.C. (1984). Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem J* **219**, 1-14.

- Ivan, M., Kondo, K., Yang, H., Kim, W., Valiando, J., Ohh, M., Salic, A., Asara, J.M., Lane, W.S. y Kaelin Jr., W.G. (2001). HIF α targeted for VHL-mediated destruction by proline hydroxylation: Implications for O₂ sensing. *Science*, 292, 464-468.
- Jaakkola, P., Mole, D.R., Tian, Y.-M., Wilson, M.I., Gielbert, J., Gaskell, S.J., von Kriegsheim, A., Heberstreit, H.F., Mukherji, M., Schofield, C.J., Maxwell, P.H., Pugh, C.W. y Ratcliffe, P.J. (2001). Targeting of HIF- α to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O₂-regulated prolyl hydroxylation. *Science*, 292, 468-472.
- Johnson, R.S. (2019). How cells sense and adapt to oxygen availability. Nobel Assembly Karolinska Institutet, Stockholm. Pp. 1-9.
- Kaelin, W.G. Jr. (2003). The von Hippel-Lindau gene, kidney cancer, and oxygen sensing, *J Am Soc Nephrol* 14, 2703-2711.
- Kaelin, W.G. Jr. (2005). Prolina hydroxylases and gene expression Anu Rev Biochem 74, 115-128u.
- Kaelin, W.G. Jr. (2005). The von Hippel-Lindau protein, HIF hydroxylation, and oxygen sensing. *Biochem Biophys Res Commun.* 338(1): 627-38.
- Kaelin, W.G. Jr. Ratcliffe, P.J. (2008). Oxygen sensing by metazoans: the central role of the HIF hydroxylase pathway. *Mol. Cell.* 30: 393-402.
- Kaelin, W.G. (2007). Von Hippel-Lindau disease. *Annu. Rev. Pathol.* 2007; 2: 145-173.
- Kaelin, W.G. Jr. (2017). The VHL Tumor Suppressor Gene: Insights into Oxygen Sensing and Cancer *Trans Am Clin Climatol Assoc.* 128: 298-307.
- Maxwell, P.H. Wiesener, M.S., Chang, G.-W., Clifford, S.C., Vaux, E.C., Cockman, M.E., Wykoff, C.C., Pugh, C.W., Maher, E.R. y Ratcliffe, P.J. (1999). The tumour suppressor protein VHL targets hypoxia-inducible factors for oxygen-dependent proteolysis. *Nature*, 399, 271-275 Cancer therapy *J Cell Mol Med* 13: 780-2786.
- Onnis, B., Rapisarda, A. y Melillo, G. (2009). Development of HIF1 inhibitors for cancer.
- Prabhakar, N.R. y Semenza, G.L. (2015). Oxygen sensing and homeostasis. *Physiology* 30: 340-348.
- Priestley, J. (1775). Experiments and observations on different kinds of air (London: Printed for J. Johnson, No. 72, in St. Paul's Churchyard).dlr).

- Ratcliffe, P.J. (2007). HIF1 and HIF2: working alone or together in hypoxia. *J Clin Invest* **117**, 862-865.
- Samanta, D. y Semenza, G.L. (2017). Maintenance of redox homeostasis by hypoxia-inducible factors *Redox Biol.* 13:331-335.
- Scheele, C. (1777). d. Königl. Schwed. Acad. d. Wissenschaft. Mitgliedes, Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer. (Uppsala and Liepzig: Magnus Swederus, Buchhän.
- Schofield C.J. y Ratcliffe P.J. Oxygen sensing by HIF hydroxylases. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 5:343-35.
- Semenza, G.L, Neifelt, M.K., Chi, S.M. y Antonarakis, S.E. (1991). Hypoxia-inducible nuclear factors bind to an enhancer element located 3' to the human erythropoietin gene. *Proc Natl Acad Sci USA*, **88**, 5680-5684.
- Semenza, G.L. y Wang, G.L. (1992). A nuclear factor induced by hypoxia via de novo protein synthesis binds the human erythropoietin gene at enhancer at a site required for transcriptional activation *Mol Cell Biol* **12**, 5447-5454.
- Semenza, G.L. (1997). *Kiney Int* 51, 553-555.
- Semenza, G.L. (2003). Targeting HIF-1 for cancer therapy, *Nat Rev Cancer* **3**, 721-732.
- Semenza, G.L. (2007). Life with oxygen. *Science.* 31:62-64.
- Semenza, G.L. (2012). Hypoxia-Inducible Factors in Physiology and Medicine *Cell.* 3; 148: 399-408.
- Semenza, G.L. (2016). The hypoxic tumor microenvironment: a driving force for breast cancer progression. *Biochim. Biophys. Acta.* 1863:382-391.
- Semenza, G.L. (2017). Hypoxia-inducible factors: coupling glucose metabolism and redox regulation with induction of the breast cancer stem cell phenotype. *Eur. Mol. Biol. Organ. J.* 36: 252-259.
- Wang, G.L. y Semenza, G.L. (1995). Purification and characterization of hypoxia-inducible factor 1, *J Biol Chem* **270** 1230-1237.
- Wang, G.L., Jiang, B.-H., Rue, E.A. y Semenza, G.L. (1995). Hypoxia-inducible factor 1 is a basic-helix-loop-helix-PAS heterodimer regulated by cellular O₂ tension. *Proc Natl Acad Sci USA*, **92**, 5510-5514.

Premio Nobel de Física 2019

JAMES PEEBLES, MICHEL MAYOR Y DIDIER QUELOZ POR SUS CONTRIBUCIONES A NUESTRA COMPRENSIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO Y DEL LUGAR DE LA TIERRA EN EL COSMOS



El anverso de la medalla muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y defunción OB MDCCCXCVI. 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

“Existen, pues, innumerables soles; existen infinitas tierras que giran igualmente en torno a dichos soles, del mismo modo que vemos a estos siete (planetas) girar en torno a este sol que está cerca de nosotros.”

Giordano Bruno, De l'infinito universo e mondi, 1584.

■ Resumen

El Nobel de Física 2019 fue concedido a James Peebles, Michel Mayor y Didier Queloz por “contribuciones a nuestra comprensión de la evolución del universo y del lugar de la Tierra en el cosmos”. La mitad del premio fue otorgada a James Peebles por “sus descubrimientos teóricos en cosmología física” y la otra mitad, conjuntamente, a Michel Mayor y Didier Queloz por “el descubrimiento de un exoplaneta orbitando a una estrella de tipo solar”. En este artículo se describen tales descubrimientos y su impacto en la cosmología y en la astrofísica contemporáneas. Además, este premio motiva en el autor una reflexión sobre el valor de los trabajos científicos de pequeños equipos y sobre el papel que estos juegan desencadenando proyectos de gran ciencia. Se concluye así que la gran ciencia surge de estudios modestos que desbrozan los caminos sinuosos por los que deambulan a veces los científicos.

■ Introducción

La primera quincena de octubre nos está obsequiando, como cada año, con la concesión de los Nobel, una fiesta para la Ciencia, así, con mayúsculas. Y es que, a menudo, los Nobel premian grandes descubrimientos que suponen un cambio de paradigma o invenciones que revolucionan el mundo de la tecnología o del conocimiento. De hecho, durante las últimas décadas la ciencia parece dominada por grandes proyectos que, a menudo, son de alcance internacional o incluso mundial.

Así, cuando el Nobel de Física honró, en 2011, a Perlmutter, Schmidt y Riess por el descubrimiento de la expansión acelerada del universo, venía a reconocer la labor de dos grandes equipos internacionales independientes: el *Supernovae Cosmology Project* y el *High Redshift Supernova Project*, colaboraciones en las que participaban varias docenas de investigadores que habían utilizado los mayores telescopios del mundo, tanto en tierra como en el espacio, para observar supernovas extraordinariamente violentas que, con esos potentes instrumentos, pueden llegar a verse aunque las explosiones sucedan a distancias lejanísimas.

En 2013, los agraciados fueron Higgs y Englert por sus trabajos pioneros sobre el bosón de Higgs. Pero el desencadenante del premio fue el descubrimiento experimental de dicha partícula llevado a cabo en el CERN, una organización cien-

tífica, establecida en Ginebra, en la que trabajan 4.000 personas, una plantilla a la que se suman otros 10.000 científicos e ingenieros que desarrollan su labor en diversos institutos alrededor del mundo colaborando con el CERN. De manera un tanto similar, el Nobel de Física de 2017, otorgado a Weiss, Barsh y Thorne, venía a premiar el logro de la detección de ondas gravitacionales desde los dos observatorios LIGO, una instalación de altísima tecnología en la que se han invertido varios cientos de millones de dólares y en la que colaboran más de un millar de físicos e ingenieros repartidos por todo el mundo.



Figura 1. Un ejemplo de gran ciencia: recreación del gran telescopio ELT. Con un espejo segmentado de 39 metros de diámetro, está siendo construido por un consorcio de 16 países europeos en el que participa España, y Chile como anfitrión, en el desierto de Atacama. | ESO.

Esta *Gran Ciencia*, que utiliza las mayores instalaciones científico-tecnológicas del mundo, está dominada por grandes líderes científicos, mueve presupuestos multimillonarios e involucra a equipos de numerosos miembros. Es una ciencia en la que los grandes resultados se publican en forma de abundantes artículos en revistas de gran alcance, publicaciones en las que el número de autores puede superar el centenar o incluso el millar. A menudo, la labor de los miembros de estos equipos queda diluida en esas grandes listas. Los científicos, miembros de esas descomunales maquinarias a veces no están seguros de en cuántas publicaciones aparecen. Para encontrar su nombre entre los autores de una publicación deben recurrir al buscador en su ordenador.

Sin querer restar valor a la gran ciencia, motivado por el reciente Nobel de Física, yo hoy quisiera romper una lanza por la *ciencia pequeña*, la que se desarrolla de manera individual y silenciosa en cientos de pequeños laboratorios y departamentos universitarios. La que cultivan científicos modestos, movidos por su curiosidad fijándose objetivos, sub-objetivos, o sub-sub-objetivos de pequeño alcance, lejos de las escalas que promueven el CERN o la construcción de los telescopios gigantes, como el Telescopio Extremadamente Grande (ELT), lejos de las grandes cuestiones, de las grandes instalaciones, de las grandes publicaciones y del gran público.

Efectivamente, el Nobel de Física de este año ha sido otorgado al cosmólogo estadounidense de origen canadiense James Peebles y a los astrofísicos suizos Michel Mayor y Didier Queloz, estos últimos pioneros en la caza de exoplanetas. En lo que sigue voy a tratar de argumentar que todos ellos son virtuosos representantes de la ciencia pequeña.

■ La cosmología de Peebles

Peebles ha sido profesor universitario en Princeton durante toda su carrera. Fruto de su creatividad personal son sus contribuciones al modelo del Big Bang que explica el origen y la evolución del universo. Su forma de trabajar, sus ideas personales, su manera de interpretar las observaciones del fondo cósmico de microondas, contribuyeron de manera sobresaliente a hacer de la cosmología una verdadera rama de la física. Sentó las bases para que la cosmología pasase de ser una serie de entelequias y conjeturas a una disciplina auténticamente científica y cuantitativa, en la que las medidas y las predicciones podían realizarse con precisión.

A partir de mediados de los años 1960 y durante dos décadas, Peebles desarrolló un marco teórico que constituye hoy la base de nuestra comprensión de la historia del universo desde el Big Bang hasta nuestros días. No utilizó grandes infraestructuras, tan solo sus dotes creativas y el gran rigor de su manera de pensar. Sin embargo, los descubrimientos de Peebles condujeron a una interpretación sorprendente de nuestro entorno cósmico, en el que la materia conocida tan solo representa el 5% de todo el contenido (materia y energía) del universo, mientras que el 95% restante permanece oculto. Este es uno de los mayores desafíos de la física contemporánea.

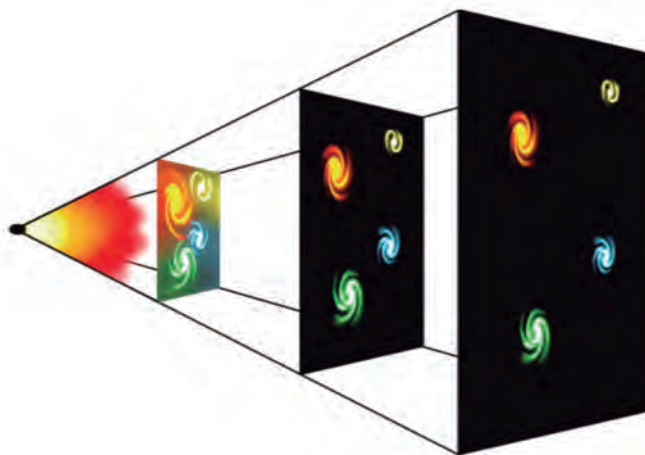


Figura 2. La expansión del universo se representa aquí mediante la evolución temporal de una sección bidimensional del espacio. Según avanza el tiempo, el espacio se dilata y las galaxias van separándose paulatinamente unas de otras. | Ævar Arnfröð Bjarmason.

La edad de oro de la cosmología

Estamos viviendo en una auténtica edad de oro de la cosmología, una edad que comenzó en los años 1960, con los trabajos de Peebles. Su primer libro, *Physical Cosmology* (1971) inspiró a toda una generación de físicos que se esforzó por contribuir a este tipo de estudios y no solo desde el punto de vista teórico, también mediante experimentos y observaciones astronómicas. Por vez primera en la historia, se asumió que el método científico (y nada más) podría ser capaz de responder a las preguntas eternas: de dónde venimos y cuál es nuestro destino. Se liberaba así a la cosmología de otros conceptos de carácter religioso o extra-científico.

Durante siglos, el universo había sido considerado un ente estacionario y eterno, en el que nada cambiaba sustancialmente. Sin embargo, en la década de 1920, los astrónomos descubrieron que las galaxias se comportaban como universos-isla y que todas esas innumerables galaxias se alejaban unas de otras y, por supuesto, de la Vía Láctea. Vivimos en un universo en expansión y en cambio permanente: el universo de hoy es diferente al de ayer y al que será mañana.

Las observaciones de los astrónomos se explicaban bien mediante la teoría de la relatividad general que Einstein había completado en 1916, una teoría que aún hoy sigue siendo la base de todos los cálculos a gran escala del universo. Esta



Figura 3. La nebulosa de Andrómeda era conocida desde la Antigüedad, pero no fue reconocida como una galaxia (una especie de universo-isla) hasta los años 1920, cuando su distancia se estimó a 2,5 millones de años luz, mucho mayor que el tamaño de la Vía Láctea.

teoría, sin embargo, en su formulación original, conducía a la conclusión de que el universo, sometido simplemente a la atracción gravitatoria, debería colapsar.

Para solventar esta discrepancia con las observaciones, Einstein agregó a sus ecuaciones una constante (Λ , la constante cosmológica) que contrarrestaría los efectos de la gravedad, permitiendo que el universo permaneciese estable. Más de una década después, tras la observación manifiesta de la expansión del universo, esta constante pareció innecesaria y Einstein consideró que la introducción de Λ había sido el mayor error de su vida. Einstein no podía imaginar entonces que la constante cosmológica retornaría a la cosmología por la puerta grande en la década de 1980, y que lo haría de la mano de James Peebles.

Sopa de partículas

La observación del universo en expansión nos conduce a la conclusión inmediata de que este mismo universo debió de ser en el pasado mucho más denso y caliente. A mediados del siglo XX, se denominó Big Bang al nacimiento del universo,

aunque nadie sabía realmente qué es lo que había sucedido para que acaeciese dicho nacimiento. No era posible describir el nacimiento en sí, pero los instantes inmediatamente posteriores podían describirse con cierto detalle: el universo primitivo debió estar poblado por una sopa compacta y muy caliente de partículas elementales y fotones. En esta sopa opaca, las partículas y los fotones colisionaban entre sí de manera incesante.

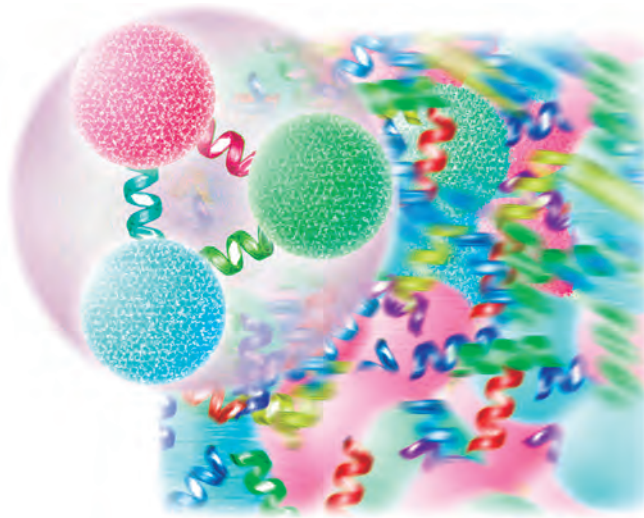


Figura 4. Un protón o un neutrón, como el que se muestra en primer plano, está constituido por tres quarks. Por encima de una temperatura crítica la materia forma una sopa de partículas elementales. El universo primitivo debió ser muy caliente y debió estar constituido por un plasma de este estilo.

Se necesitaron 400.000 años para llegar a enfriar suficientemente esta sopa primordial y que su temperatura descendiese a unos pocos de miles de grados Celsius. En ese momento, las partículas pudieron irse combinando para formar un gas transparente de hidrógeno y helio. Los fotones pudieron entonces moverse libremente y la luz comenzó a viajar por el espacio. Aquellos primeros rayos de luz aún pueblan el cosmos, pero la expansión del espacio hizo que aquellas ondas de luz visible se convirtieran en microondas, de unos pocos milímetros de longitud de onda.

Eco del Big Bang

Este resplandor del nacimiento del universo, el eco del Big Bang, fue detectado por vez primera, de manera completamente casual, en 1964, por dos radioastrón-

nomos estadounidenses: Arno Penzias y Robert Wilson, quienes recibirían el Nobel de Física de 1978 por su descubrimiento. Mientras realizaban unas pruebas de comunicaciones por microondas, Penzias y Wilson no conseguían desembarazarse de un persistente ‘ruido’ que su antena parecía captar por todas las regiones del espacio. Tratando de buscar una explicación para ese ‘ruido’, los radioastrónomos estudiaron los trabajos de varios físicos, incluyendo a James Peebles, que habían realizado cálculos teóricos sobre las características que debía tener la radiación de fondo resultante de aquel resplandor que se produjo en el universo primordial. Pronto no cupo ninguna duda de que el ‘ruido’ detectado por Penzias y Wilson era el fondo cósmico de microondas predicho por los cosmólogos.

En efecto, Peebles había concluido que, después de casi 14 mil millones de años, la temperatura de aquellos fotones debía haber descendido hasta cerca del cero absoluto (273 grados Celsius bajo cero) y, lo que es más importante, a partir de la temperatura de esta radiación podría calcularse cuánta materia se había creado en el Big Bang. Peebles comprendió que la liberación de esa radiación debía jugar un papel decisivo en cómo la materia podría agruparse para formar galaxias y cúmulos de galaxias.

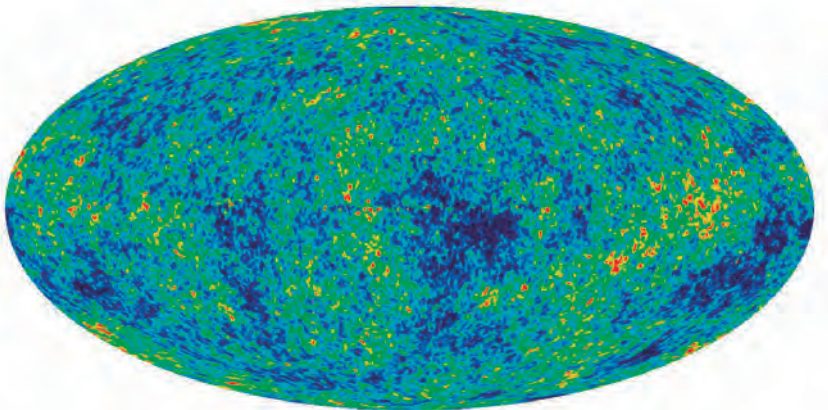


Figura 5. El fondo cósmico de microondas observado por el satélite europeo Planck nos revela las pequeñas irregularidades a partir de las que surgieron galaxias y cúmulos de galaxias | ESA.

El descubrimiento del fondo cósmico de microondas señaló el comienzo de la nueva era de la cosmología moderna. Esa radiación antigua, producida en la infancia del universo, se ha ido convirtiendo en una piedra de Roseta que tiene escrita toda la información que los cosmólogos desean descifrar. La edad del universo, su

destino, la cantidad total de materia y energía, son algunos de los datos que están cifrados en ese resplandor frío y primordial. En ese fondo de microondas hay pequeñas variaciones que se propagan a través de la sopa primordial como ondas de sonido. Si no hubiese habido esas pequeñas irregularidades, el cosmos habría pasado de ser una bola incandescente a un vacío frío y desangeladamente uniforme.

Semillas de galaxias

Aquellas pequeñas irregularidades, sin embargo, representan las semillas que acabarían poblando el espacio de galaxias y de cúmulos de galaxias. El fondo cósmico de microondas parece suavemente liso a primera vista. Pero es como un océano visto de lejos, las olas solo son visibles cuando miramos de cerca y podemos apreciar así todos los detalles. De manera similar, las irregularidades del fondo cósmico de microondas, esas semillas de galaxias, se revelaron mediante las observaciones ultra precisas de telescopios espaciales como COBE, WMAP y PLANCK.

James Peebles y otros cosmólogos habían predicho, con una precisión asombrosa, cuáles debían ser las irregularidades del fondo cósmico de microondas para que se pudiesen formar las galaxias. Pero, como decíamos, estas pequeñas

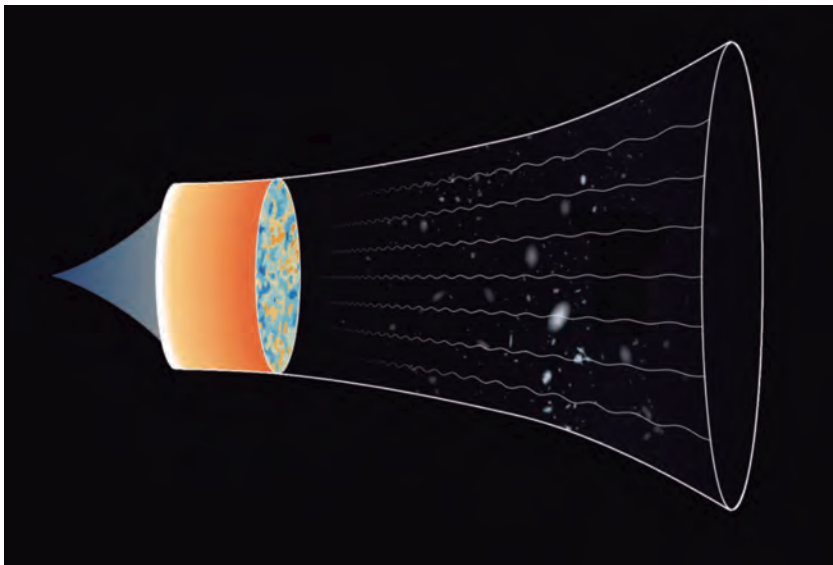


Figura 6. Este esquema muestra cómo a partir de las irregularidades observadas en el fondo cósmico se fueron formando las galaxias. | [nobelprize.org](https://www.nobelprize.org).

variaciones no pudieron medirse hasta que no se utilizaron telescopios espaciales. El primero de ellos, COBE, proporcionó sus datos en 1992 y sus investigadores principales, John Matter y George Smoot, recibieron por ello el Nobel de Física en 2006. Otros dos satélites, el estadounidense WMAP y el europeo PLANCK, refinaron gradualmente estas medidas ofreciéndonos un retrato cada vez más fiel del universo joven.

Tal y como habían predicho los cosmólogos, la temperatura de la radiación de fondo tenía variaciones minúsculas, de tan solo una cien milésima de grado. Con esta precisión pudieron refinarse los cálculos teóricos sobre el contenido de materia y energía oscuras del universo, confirmándose así que la mayoría del universo, el 95 %, sigue permaneciendo invisible.

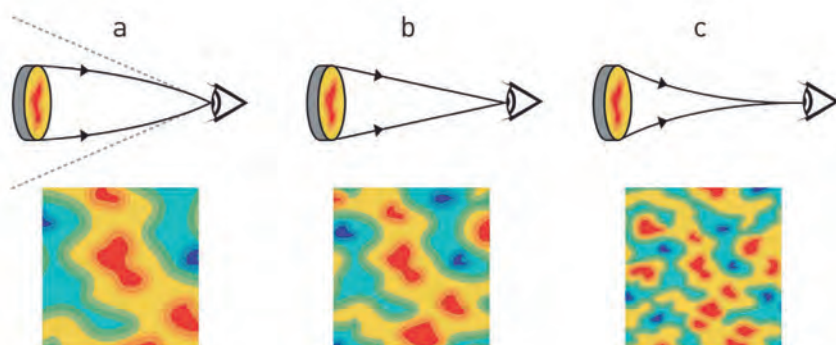


Figura 7. El tamaño angular de las irregularidades que observamos en el fondo cósmico de microondas depende de la geometría del universo. Estas irregularidades parecerán más grandes en un universo con curvatura positiva (como una esfera) y más pequeñas si la curvatura es negativa (como en una silla de montar), pero no alterarán su tamaño en un universo plano | nobelprize.org.

Materia oscura

Desde la década de 1930, sabemos que lo que vemos no es todo lo que hay. Las estrellas en las periferias de las galaxias se mueven a unas velocidades que son demasiado elevadas respecto a la cantidad de materia visible contenida en cada galaxia. Esto indicaba que las galaxias debían contener una cantidad muy importante de materia invisible ('materia oscura') que haría que esas estrellas se moviesen de manera tan veloz. De hecho, si no existiese esta materia oscura, las galaxias no permanecerían cohesionadas y se desgarrarían.

Durante un tiempo, se pensó que los neutrinos podrían constituir esta materia oscura. Pero esto requeriría la existencia de un número inimaginable de neutrinos (que tienen muy poca masa individualmente) cruzando el espacio a una velocidad próxima a la de la luz. Son partículas demasiado veloces como para ayudar a mantener cohesionadas las galaxias. Peebles, en 1982, propuso que la materia oscura debía estar constituida por partículas más pesadas y lentas. Pero los físicos todavía están buscando, tanto en el espacio como en los aceleradores de partículas, esas partículas desconocidas de materia oscura y fría que parecen no interactuar con la materia bariónica (salvo por la gravedad) y que representan el 26% de la composición del cosmos.

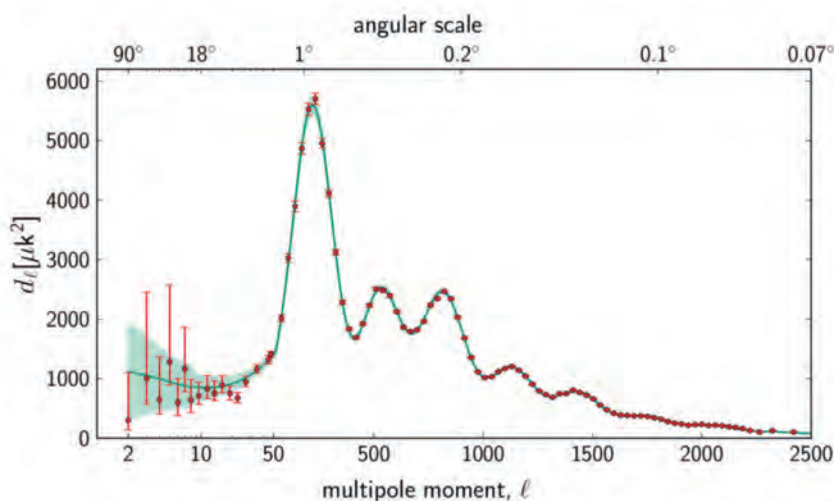


Figura 8. El espectro de las anisotropías del fondo cósmico presenta varios picos acústicos. El primer pico está determinado por el tamaño angular de las estructuras que, a su vez, viene dado por la geometría y la densidad del universo. Este pico indica que el universo es plano. El segundo y tercer picos determinan la cantidad de materia y energía oscuras. La existencia de estos picos fue predicha por Peebles previamente a las observaciones. | ESA/PLANCK.

Según la teoría de la relatividad general de Einstein, la geometría del espacio está determinada por la gravedad: cuanto más masa y energía contiene el universo, más curvo se vuelve el espacio. Hay un valor crítico de la masa y la energía para el que el universo no es curvo. Este tipo de universo, en el que dos líneas paralelas nunca se cruzarán, se llama 'universo plano'. Otras dos opciones son un universo con muy poca materia, que conduce a un universo abierto en el que las líneas paralelas eventualmente divergen, o un universo cerrado con demasiada materia, en el que las líneas paralelas finalmente se cruzarán.

Tanto las medidas más precisas de la radiación del fondo cósmico, como las consideraciones teóricas, indican hoy por hoy que el universo es plano. La densidad de la masa y de la energía debe de coincidir por tanto con ese valor crítico al que nos referíamos antes. Sin embargo, si hacemos el cómputo de toda la materia ordinaria y oscura que observamos directa o indirectamente, resulta que tan solo llegamos al 31% de ese valor crítico que debe ser el valor real.

Energía oscura

Peebles, junto con otros cosmólogos, propuso en 1984 que el 69% que falta es un tipo de energía (denominada ‘energía oscura’) que se debe corresponder con la energía del vacío que Einstein representó mediante su constante cosmológica Lambda. Junto a la materia ordinaria y a la materia oscura, esta energía sería suficiente para explicar la planitud observada del universo.

Pero la energía oscura siguió siendo una mera idea teórica durante 14 años, hasta que, en 1998, se descubrió que la expansión del universo es acelerada (Premio Nobel de Física 2011 a Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess). Esta aceleración que se observó en la expansión del universo debía estar causada por

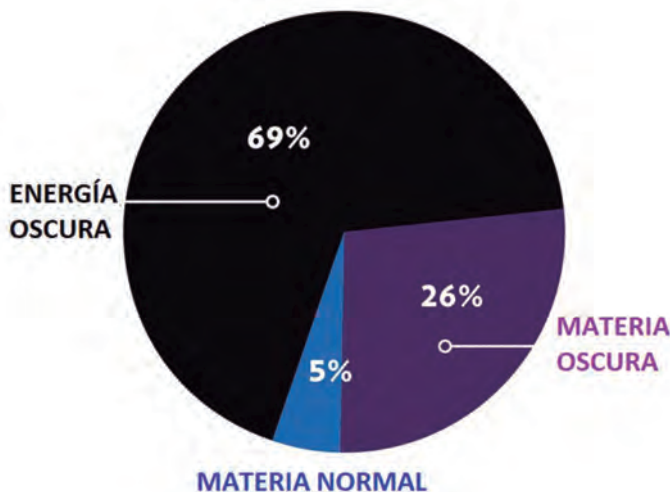


Figura 9. La composición de nuestro universo incluye un 69% de energía oscura para explicar tanto el espectro de potencia del fondo cósmico como la aceleración en la expansión del universo que fue descubierta en 1998 (Premio Nobel de 2011).

una energía oscura que actuase como una especie de fuerza de repulsión entre las galaxias. La energía oscura tomaba así, de manera repentina, una entidad manifiesta, se constituía en una realidad que se observaba en los cielos.

Tanto la materia oscura como la energía oscura se encuentran actualmente entre los mayores misterios de la cosmología. Ninguna se muestra de manera directa y solamente se manifiestan a través del impacto que tienen en su entorno: la primera ‘tira’ (mediante la atracción gravitatoria), mientras que la segunda ‘empuja’ (mediante el efecto de la constante cosmológica). Pero, por el momento, no sabemos mucho más de ambas entidades. ¿Qué secretos se esconden en este lado oscuro del universo? ¿Qué nueva física se esconde detrás de lo desconocido? Las próximas décadas nos deberían proporcionar nuevos descubrimientos asombrosos sobre la naturaleza del universo.

■ El descubrimiento de los exoplanetas

Cuando Michel Mayor fue nombrado profesor en la Universidad de Ginebra en 1983, sus trabajos trataban sobre las propiedades estadísticas de las estrellas dobles. Un tema muy de moda por aquel entonces, pues las observaciones indicaban que la mitad de las estrellas podrían formar parte de sistemas estelares dobles o múltiples. A partir de esos trabajos fue interesándose por encontrar compañeros progresivamente más ligeros en torno a estrellas de tipo solar. A principios de la década de 1990, se encontraba trabajando sobre esta cuestión con su estudiante de doctorado Didier Queloz. El tema exigía grandes can-



Figura 10. El telescopio de 193 cm del Observatorio de la Alta Provenza con el que Mayor y Queloz descubrieron el primer exoplaneta en torno a una estrella de tipo solar. | OHP.

tidades de tiempo de observación, un tiempo que resulta extremadamente difícil de conseguir en los telescopios más potentes del mundo. Así que Mayor y Queloz se vieron obligados a recurrir a telescopios menos competitivos y concretamente el telescopio de 1,93 metros del Observatorio de la Alta Provenza, un instrumento que había sido construido en 1958 y que, al estar situado en un observatorio nacional, y a una altitud de tan solo 650 metros sobre el nivel del mar, no estaba excesivamente solicitado.

Para compensar los límites en sensibilidad de su telescopio, Mayor se interesó por desarrollar una nueva generación de espectrógrafos en colaboración con grupos de astrónomos franceses. Conseguir la financiación necesaria para construir el espectrógrafo ELODIE, que debería ser instalado en ese telescopio de la Provenza, no fue tarea nada sencilla. En la década de 1990 los países occidentales ya gastaban grandes recursos en organizaciones internacionales, lo que permitía instalar potentes telescopios a gran altitud, en los lugares más oscuros y de cielos más despejados del planeta, como Hawái, Atacama, o nuestras Canarias. Observatorios como el de Alta Provenza habían pasado a tener una segunda prioridad.

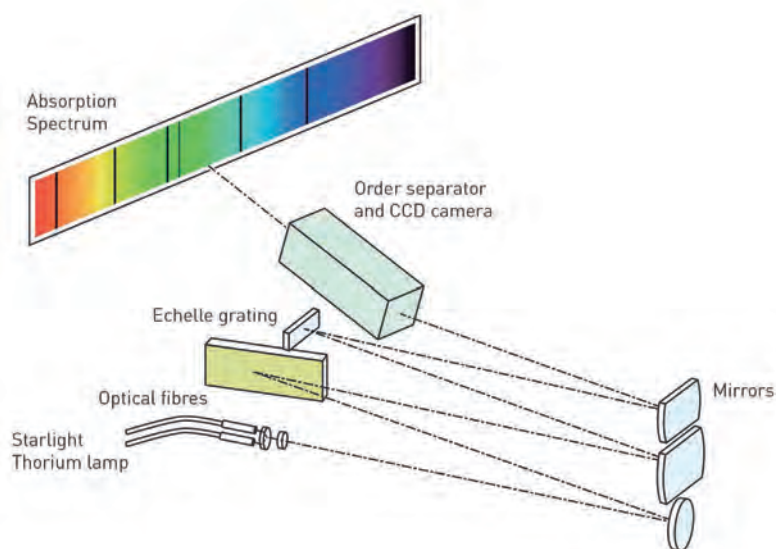


Figura 11. Esquema de ELODIE, el espectrógrafo de tipo echelle que fue utilizado para la detección de 51 Pegasi b. El poder de resolución alcanzaba un valor de 42.000. El tiempo de exposición para cada estrella era típicamente de 30 minutos y la precisión en velocidad unos 13 m/s. En el dibujo el espectro de líneas de absorción está simplificado, en la práctica se observaban unas 5.000 líneas espectrales. | nobelprize.org.

El profesor Mayor y su estudiante persistieron, a pesar de todo, en su modesto proyecto. Invirtieron muchas noches en observar un gran número de estrellas con el telescopio de 1,93 metros equipado con ELODIE. Su perseverancia hizo que, en 1995, descubrieran el primer objeto de masa planetaria en torno de una estrella de la secuencia principal similar a nuestro Sol. El planeta fue bautizado con el nombre de la estrella seguido de la letra b: *51 Pegasi b*. Comenzaba así una de las mayores revoluciones de la astrofísica de nuestro tiempo.

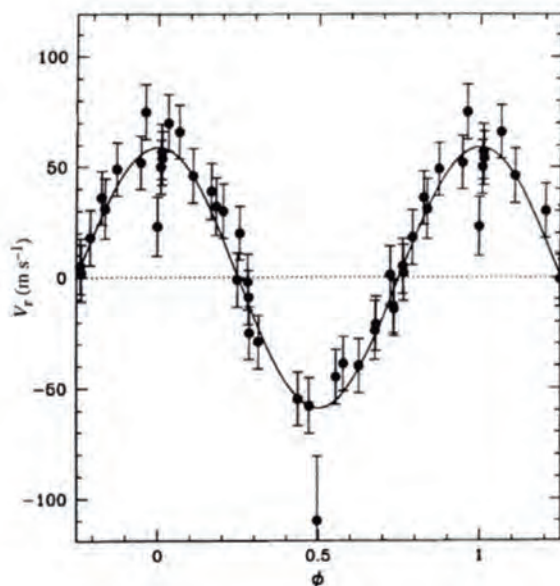


Figura 12. La fase orbital de 51 Pegasi b. La distancia entre los dos picos mide el periodo orbital y la amplitud (unos 59 m/s) da información sobre la masa del planeta dividido por $\sin(i)$, donde i es la inclinación de la órbita. | Mayor y Queloz (1995).

Antecedentes al descubrimiento

Antes de nada, en aras de la justicia histórica, conviene recordar que, si bien 51 Pegasi b fue el primer exoplaneta detectado en una estrella similar al Sol, hubo dos planetas detectados 3 años antes orbitando en torno a una estrella de clase muy diferente. Se trataba de la estrella de neutrones PSR B1257+12, un cadáver estelar que rota a velocidad vertiginosa: su periodo de rotación es de 6,22 milisegundos.

Este púlsar, situado en la constelación de Virgo a 980 años luz de la Tierra, fue estudiado por el astrónomo polaco Aleksander Wolszczan y el canadiense Dale

Frail con el gran radiotelescopio de 300-m de diámetro en Arecibo (Puerto Rico, EEUU) en 1990, aunque la publicación se realizó dos años más tarde (Wolszczan y Frail 1992). El púlsar presentaba unas anomalías en el periodo de sus pulsaciones que solo podían ser explicadas mediante la presencia de dos planetas orbitando en torno a la estrella de neutrones. Posteriormente, en 1994, se descubrió un tercer planeta en el mismo sistema (Wolszczan, 1994). Los planetas, designados Draugr, Poltergeist y Phobetor, tienen masas aproximadas de 0,02, 4,3 y 3,9 masas terrestres, respectivamente. Se piensa que podrían ser los núcleos rocosos de antiguos planetas gigantes gaseosos que habrían orbitado en torno a la misma estrella durante su juventud, antes de que estallase en forma de supernova; la explosión pudo haber originado la transformación de los planetas. Sin embargo, tampoco puede descartarse que estos pequeños planetas se hubiesen formado tras la explosión, a partir de los restos de material depositados en el medio interestelar.

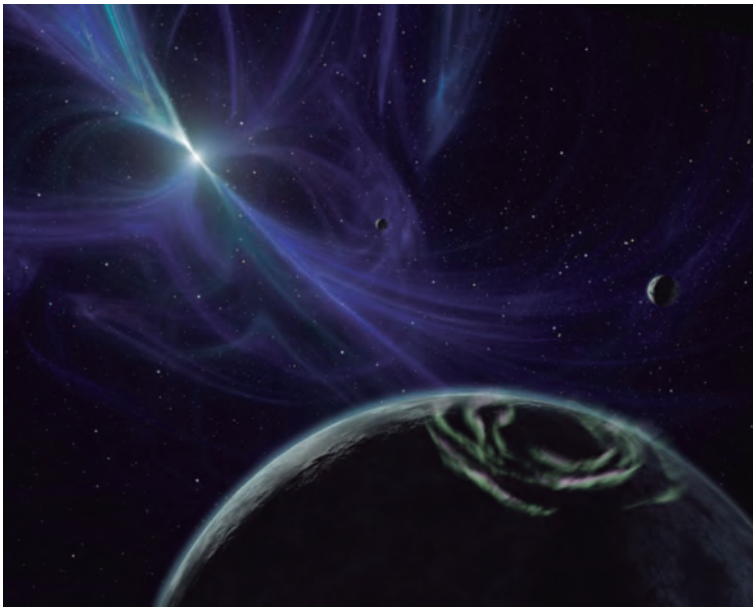


Figura 13. Recreación de un planeta orbitando a un púlsar. | NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC).

Unos años antes de este descubrimiento, hubo algunas otras observaciones que sugirieron la posible presencia de un planeta en torno a una estrella de la secuencia principal. En 1988, Bruce Campbell (Univ. of Victoria) y Gordon Walker y Stephenson Yang (Univ. of British Columbia) encontraron que la estrella gamma

Cephei oscilaba de una manera extraña. Aunque los astrónomos pensaron en un principio que estas oscilaciones podían deberse a la presencia de un planeta, concluyeron que la posible actividad estelar era una explicación más plausible. Quince años después, un equipo de astrónomos coordinado por Artie Hazes (Thuringer Observatory) confirmó, sin embargo, que las oscilaciones de esta estrella eran debidas a la presencia de un planeta.

Algo similar sucedió con la estrella de tipo solar HD114762 que fue estudiada en 1988 por David Latham (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics), quien concluyó que la estrella estaba acompañada por otra estrella menor de tipo enana marrón. El compañero fue identificado como planeta por Stephen Kane y Dawn Gelino (NASA) en 2012.

Métodos de detección de exoplanetas

Los planetas son astros de brillo muy débil. En el visible, suelen tener un brillo que es menor a una millonésima del brillo de la estrella a la que orbitan. Además, el brillo de la estrella es tan intenso y deslumbrante que observar ese pequeño exoplaneta oscuro en su inmediata proximidad es extremadamente difícil. Diríamos que la situación para el astrónomo es similar a la que se daría si tratase de observar en la lejanía a una mosca que pasa por delante del faro de una motocicleta.

Por estas razones, aún con los mayores telescopios disponibles, es una tarea sumamente complicada y, de hecho, hasta la fecha tan solo se han fotografiado de manera directa una decena de exoplanetas. Se trata de exoplanetas particularmente grandes (mucho mayores que Júpiter) y muy separados de su estrella.

La inmensa mayoría de los exoplanetas conocidos han sido detectados por los tres métodos indirectos que pasamos a describir en lo que sigue.

Método de la velocidad radial

Este método se basa en el efecto Doppler. El planeta, al orbitar la estrella central, ejerce también una fuerza gravitacional sobre esta de manera que la estrella gira en torno al centro de masas del sistema estrella-planeta. Las oscilaciones de la estrella pueden detectarse mediante ligerísimos cambios en las líneas espectra-

les según la estrella se acerca a nosotros (desplazamiento hacia el azul) o se aleja (desplazamiento al rojo).

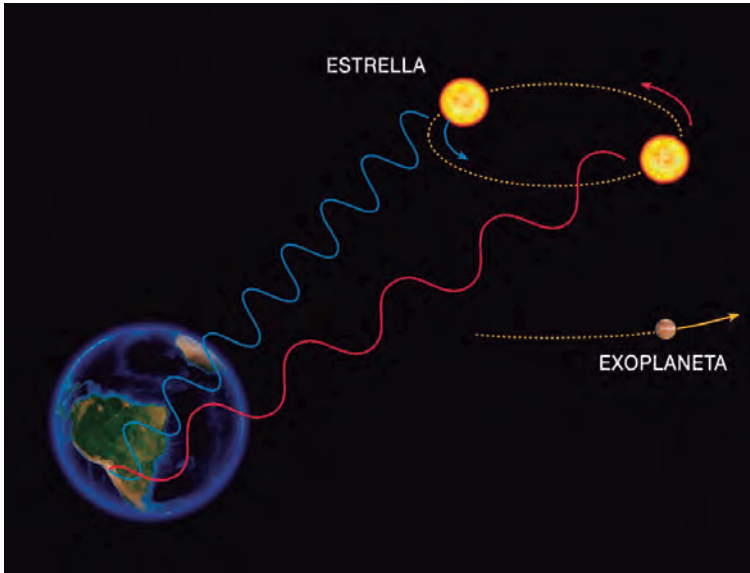


Figura 14. Ilustración del fundamento del método de la velocidad radial. | ESO.

Este método ha sido el más fructífero en la búsqueda de nuevos planetas, pero solo es eficaz detectando planetas gigantes que se encuentran cercanos a la estrella principal, pues es en este caso cuando las perturbaciones en el movimiento de la estrella principal son más significativas. Por ello, con este método solo puede detectarse una pequeña fracción de los exoplanetas existentes.

Método de los tránsitos

Esta técnica consiste en realizar observaciones fotométricas de una estrella para detectar los sutiles cambios en la luminosidad que se producen cuando un planeta orbita delante de ella. En efecto, al pasar el planeta por delante, se crea un mini-eclipse y una pequeña parte de la luz estelar queda bloqueada por la presencia del planeta interpuesto en la línea de mirada.

Al igual que en el caso de la velocidad radial, este método favorece la detección de exoplanetas muy voluminosos. Pero, al contrario de aquel, este tiene la

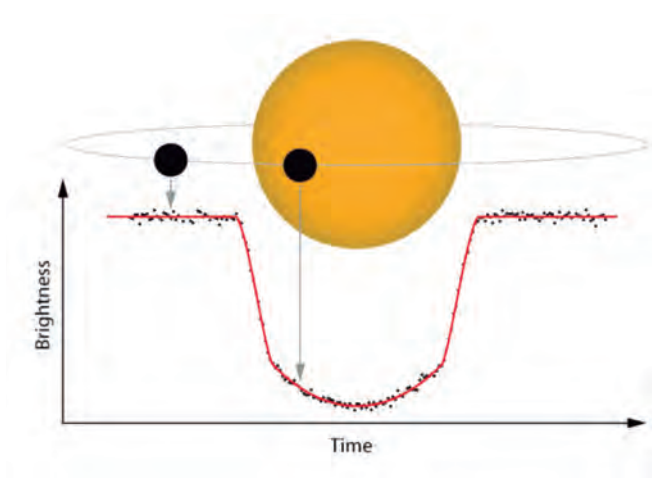


Figura 15. Ilustración del fundamento del método de los tránsitos.

ventaja de que la cercanía del planeta a su estrella no es relevante, por lo que resulta de particular interés para detectar grandes exoplanetas lejanos a su estrella (que escapan a la detección por el método de la velocidad radial).

Los avances tecnológicos en la fotometría de precisión han hecho posible la detección de cambios ínfimos de brillo, haciendo que este método pueda aplicarse para la detección de exoplanetas progresivamente menores. Así, el pequeño telescopio espacial Kepler ha podido detectar, mediante este método, varios exoplanetas del tamaño de la Tierra.

Método astrométrico

Como hemos visto más arriba, la estrella que va acompañada por un planeta gira en torno al centro de masas del sistema. Es decir, la estrella cambia ligeramente de posición según el planeta se mueve en su órbita, y estos cambios periódicos, aunque pequeñísimos, podrían registrarse monitorizando la posición de la estrella con mucha precisión.

La precisión requerida por este método es tan elevada que, hasta el momento, son muy pocos los exoplanetas así detectados. Se espera no obstante que el telescopio Gaia de la ESA, que fue concebido para realizar medidas astrométricas muy precisas, pueda ayudar a detectar millares de planetas utilizando esta técnica.

Otros métodos

Aunque las técnicas más utilizadas para detectar exoplanetas son las señaladas más arriba, hay otros métodos que pueden resultar muy útiles en algunos casos.

Binarias eclipsantes. En el caso de estrellas binarias eclipsantes se puede intentar detectar planetas que orbitan alrededor de los dos miembros de la binaria mediante el estudio de las pequeñas variaciones observadas en los eclipses que producen las estrellas entre sí.

Microlentes. Un planeta, junto con su estrella, puede actuar como una micro-lente gravitacional aumentando y distorsionando la luz emitida por una estrella más distante situada sobre la misma línea de mirada. Este método tuvo éxito al detectar el primer planeta de masa baja en una órbita lejana a su estrella (OGLE-2005-BLG-390-Lb).

Perturbaciones gravitacionales en discos de polvo. En estrellas jóvenes que aún conservan su disco circunestelar de gas y polvo, es posible detectar las irregularidades causadas por la interacción gravitacional con un planeta. Es un fenómeno similar al que mantiene estables los anillos de Saturno. En Saturno, unas lunas pastoras, al recorrer sus órbitas en torno al planeta gigante, mantienen, muy próxi-

mas entre sí a las partículas, que constituyen los anillos. Pues bien, en una estrella como Fomalhaut, o como Beta Pictoris, la estructura de los anillos circunestelares delata la presencia de planetas 'pastores'. En estrellas más jóvenes, se pueden observar las huellas dejadas por planetas en formación en las irregularidades de los discos (huecos o condensaciones de materia).

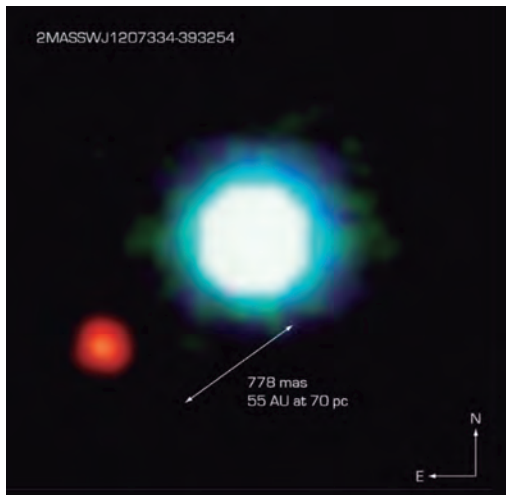


Figura 16. | 2M1207b, un planeta detectado mediante imagen directa, aparece como una mancha rojiza mientras que su estrella es la mancha blanca. | ESO.

Observación directa. Como hemos señalado más arriba, una estrella media es miles de millones de veces más brillante que los pla-

netas que pueden orbitar en su entorno. Detectar ese cuerpo tan poco brillante junto a otro tan extremadamente brillante es un auténtico reto de la técnica. Algo que ningún detector astronómico podía conseguir hasta hace poco tiempo. No obstante, hay algún caso extremo en el que se ha logrado. Es lo que sucedió con la observación de la estrella enana marrón 2M1207. Esta estrella poco luminosa posee un planeta joven y muy grande (4 veces más masivo que Júpiter), 2M1207b, orbitando a gran distancia (unas 40 Unidades Astronómicas, esto es, 40 veces la distancia Tierra-Sol). Así pues, la emisión infrarroja de la estrella es comparable a la de su planeta y ambos objetos son discernibles en una imagen directa tomada con los telescopios VLT (ESO).

Pero, como decimos, este caso es una excepción y en la inmensa mayoría de las observaciones no es posible discernir de forma directa el leve brillo de un planeta de la deslumbrante luminosidad de su estrella madre.

Nombres de los exoplanetas

El sistema para nombrar los exoplanetas está basado en el que se utiliza para nombrar las componentes de una estrella múltiple. Por ejemplo, el sistema triple Sirio está formado por las estrellas Sirio A, Sirio B y Sirio C. En el caso de los exoplanetas se añade al nombre de la estrella central una letra minúscula comenzando por la 'b'. Por ejemplo, el primer planeta detectado en la estrella 51 Pegasi se denomina 51 Pegasi b, y cuando se detecten otros se irán nombrando como 51 Pegasi c, 51 Pegasi d, etcétera. Vemos pues que la secuencia de las letras sigue el orden de los descubrimientos (y no la posición en torno a la estrella central). Por ejemplo, 55 Cancri f, que es el último planeta descubierto en torno a la estrella 55 Cancri, está más cerca de su estrella que el 55 Cancri d, que fue descubierto antes. 16 Cygni Bb representa el primer planeta detectado en torno a la segunda componente del sistema estelar binario 16 Cygni.

Tan solo algunos exoplanetas tienen nombres propios. La Unión Astronómica Nacional (UAI), de acuerdo con las iniciativas NameExoWorlds, ha ofrecido oportunidades para nombrar estrellas y planetas que reflejen la cultura de los pueblos. Así la estrella Mu Arae se bautizó 'Cervantes' en el año 2015 y sus cuatro planetas conocidos: Dulcinea, Rocinante, Quijote y Sancho. En el 2019, cada país de la UAI tuvo la oportunidad de nombrar a una estrella y a sus planetas. España eligió nombrar a la estrella HD149143 como Rosalía de Castro y a su planeta HD149143 como Río Sar.

¿Cuántos exoplanetas hay?

Tras 25 años de búsquedas de exoplanetas, según The Extrasolar Planet Enciclopediae, a finales del año 2019, se habían identificado y confirmado 4.160 exoplanetas, la mayoría de ellos con el telescopio espacial Kepler de NASA. Estos exoplanetas forman parte de 3.090 sistemas planetarios diferentes, pues se conocen 676 sistemas múltiples (que contienen más de un planeta). De estos, hay unos 150 planetas conocidos que orbitan completamente en su Zona de Habitabilidad.

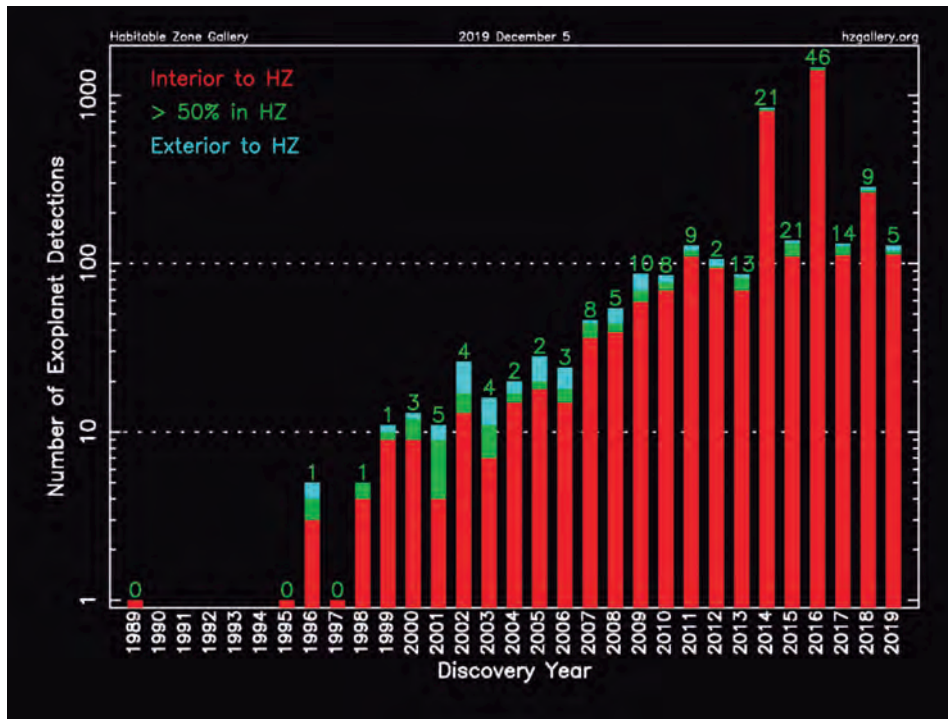


Figura 17. Histograma de los planetas descubiertos a lo largo del tiempo. La mayoría de los planetas detectados (en rojo) se encuentran en una zona interior a la Zona de Habitabilidad. En verde se representan planetas que pasan más del 50 % de su tiempo en la Zona de Habitabilidad de su estrella. Nótese que el número de exoplanetas se representa en escala logarítmica. | The Extrasolar Planet Enciclopediae.

Además, hay una lista de 2.420 candidatos que aún precisan confirmación y se ha descubierto que prácticamente todos los tipos de estrellas pueden poseer sistemas planetarios. Se estima por tanto que el número de planetas puede ser similar o superior al número de estrellas (unos 200.000 millones en el caso de la Vía Láctea).

A partir de las observaciones con el telescopio espacial Kepler de NASA, se estimó que, de los planetas de la Vía Láctea, unos 40.000 millones podrían tener una masa similar a la de la Tierra. Y, de estos, unos 11.000 millones podrían estar orbitando en la zona de habitabilidad de estrellas similares al Sol.

El zoo de los exoplanetas

Del estudio de los exoplanetas está surgiendo una imagen del cosmos que tiene un gran impacto sobre nuestra imaginación. En muchos casos, los exoplanetas descubiertos superan a los que la ciencia-ficción había ideado como escenarios de sus relatos. Nuestro sistema solar, con sus pequeños planetas rocosos en la región interior y los grandes planetas gaseosos y helados en su región más externa, no es el patrón ni el modelo de los sistemas planetarios, que pueden ser muy diferentes.

Júpiter, el gigante del sistema solar, es unas 318 veces más masivo que la Tierra, pero en otros sistemas planetarios se encuentran planetas que lo dejan empequeñecido. Se conocen unas dos docenas de planetas que tienen masas superiores a 50 veces la de Júpiter. Muchos de estos planetas gigantes orbitan cerca de su estrella, y son mucho más cálidos que nuestro Júpiter, de ahí que se les conozca como 'Jupiteres calientes'. Hay otros, sin embargo, que orbitan mucho más lejos de su estrella que nuestros planetas del Sol.

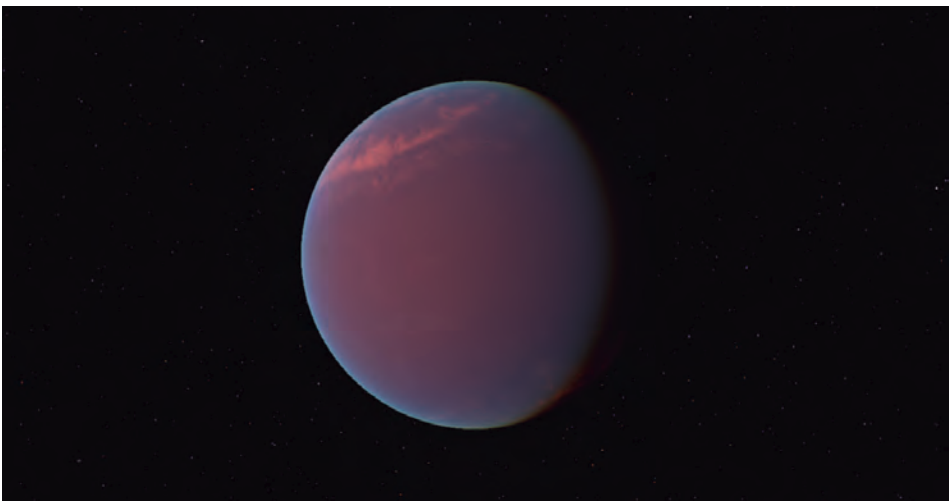


Figura 18. Recreación de Gliese 1214b, un planeta océano de tipo super-Tierra.

Sorprendentemente, la gran mayoría de planetas detectados hasta la fecha tiene un tamaño que está ausente en nuestro sistema solar. Se trata de las ‘super-Tierras’ o ‘mini-Neptunos’. Para muchos de estos planetas tan solo se conoce la masa o el diámetro, pero no ambas magnitudes, por lo que resulta dudoso equipararlos a nuestra Tierra o a Neptuno. Sin embargo, cuando para un mismo planeta se llega a determinar ambas magnitudes (masa y tamaño) puede determinarse también la masa y puede concluirse así algo sobre su composición. Así un pequeño planeta rocoso pero de baja densidad podría estar dominado por grandes y profundos océanos. Es el caso de Gliese 1214b, una super-Tierra con densidad significativamente inferior a la de nuestro planeta, muy posiblemente un ‘planeta océano’.

Otros planetas interesantes son los llamados ‘planetas de diamantes’. Nuestro sistema solar se formó a partir de un disco proto-planetario rico en silicio y oxígeno, pero otras estrellas pueden estar rodeadas de discos proto-planetarios en los que predomine el carbono. En ese caso, los planetas que se formen podrían tener capas de grafito o diamante, dependiendo de la presión que impere dentro del planeta. La atmósfera rica en carbono del exoplaneta 55 Cancri parece indicar que este podría ser uno de estos planetas de diamantes.

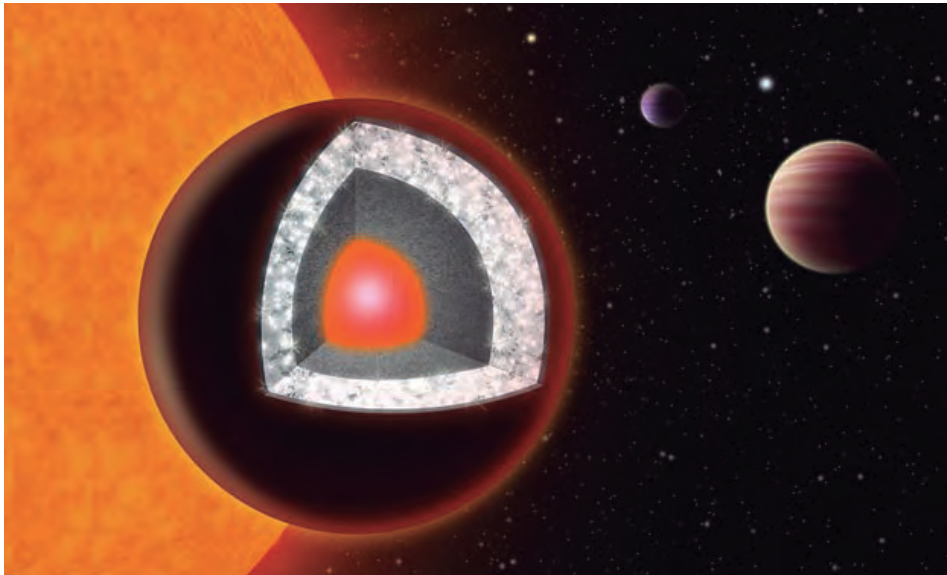


Figura 19. Recreación de 55 Cancri e, posiblemente un planeta de diamantes. | Reuters.

El día que dispongamos de métodos observacionales para hacer una foto al exoplaneta H209458b –el primero que fue detectado por el método de los trán-

sitos– no deberemos sorprendernos de encontrar algo que se asemeja a un cometa gigante. Esto es debido a que el planeta orbita tan cerca de su estrella que su atmósfera va evaporándose creando una cola de material que se extiende mucho más allá de su órbita. Otros planetas que orbiten muy cerca de sus estrellas, y que sean de tipo rocoso, sufrirán temperaturas muy altas y estarán sometidos a intensas fuerzas de marea que, a su vez, originarán una gran actividad volcánica. Se crearán así ‘planetas de lava’ con toda la superficie constituida por roca fundida, es el caso de CoRoT-7b.

El sistema planetario TRAPPIST-1

Este sistema planetario, orbitando en torno a una estrella enana ultra-fría (una enana roja de tipo M8V) es tan singular que merece una mención especial. La estrella denominada TRAPPIST-1, también conocida como 2MASS J23062928-0502285, no es mucho mayor que Júpiter y está localizada a 39,13 años luz de distancia a la Tierra, en la constelación de Acuario.

El sistema fue descubierto por el astrónomo Michaël Guillon de la Universidad de Lieja (Bélgica), utilizando el pequeño telescopio TRAPPIST (Telescopio Pequeño para Planetas y Planetesimales en Tránsito) que se encuentra en el Observatorio de La Silla (Atacama, Chile).

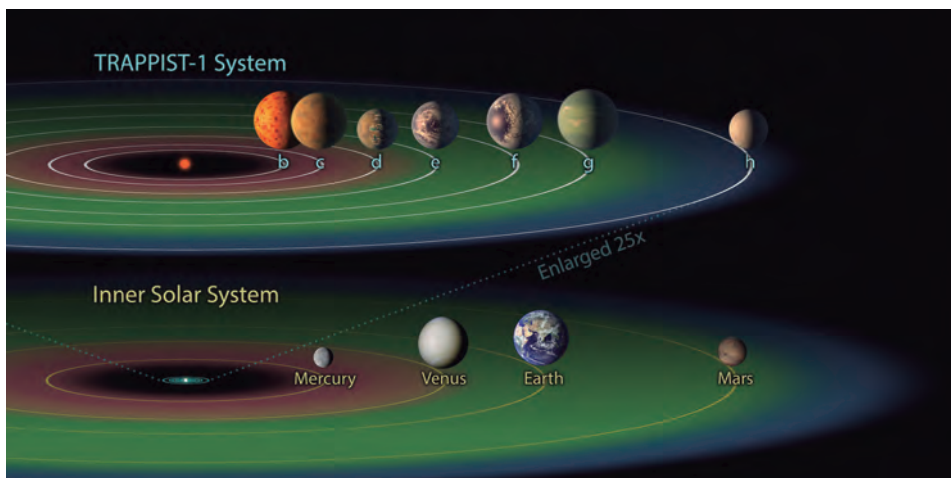


Figura 20. El sistema planetario TRAPPIST-1 comparado al sistema solar. Nótese que este sistema planetario tiene un tamaño muy inferior a la órbita de Mercurio. | NASA.

Inicialmente, en el año 2015, Guillon y sus colaboradores descubrieron tres planetas de tipo terrestre. Y en el año 2017 el mismo equipo, utilizando otros telescopios en tierra y en el espacio, anunció el descubrimiento de 4 planetas adicionales. Se conocen pues 7 planetas en el sistema de TRAPPIST-1. Todos ellos son planetas de tipo terrestre y de clima templado y, lo que es aún más interesante, al menos tres de ellos se encuentran en la zona de habitabilidad de la estrella. En efecto, cinco (b, c, e, f y g) son similares en tamaño a la Tierra, y dos (d y h) son de tamaño intermedio entre Marte y la Tierra. Los planetas que orbitan dentro de la zona habitable son los denominados e, f y g.

Los siete planetas de TRAPPIST-1 orbitan mucho más cerca de su estrella que Mercurio alrededor del Sol. Excepto el TRAPPIST-1b, el resto orbita más lejos de lo que los satélites galileanos lo hacen alrededor de Júpiter. La distancia entre las órbitas de TRAPPIST-1b y TRAPPIST-1c es solo 1,6 veces la distancia entre la Tierra y la Luna. Los planetas deben destacar vistos en los cielos de sus vecinos, y en algunos casos, varias veces más grandes de lo que la Luna aparece vista desde la Tierra. Un año en el planeta más cercano dura solo 1,5 días terrestres, mientras que el año del séptimo planeta equivale a 18,8 de nuestros días.

Atmósferas planetarias

El estudio de las atmósferas planetarias es absolutamente clave para comprender de qué están hechos los planetas, lo que a su vez es esencial para descubrir los mecanismos de su formación y evolución. Pero estudiar la composición de una atmósfera planetaria no es tarea sencilla.

En principio, se pueden utilizar dos métodos para estudiar la composición de la atmósfera de un exoplaneta, ambos espectroscópicos. Un primer método consistiría en el análisis espectroscópico de la luz estelar que atraviesa la atmósfera del planeta (cuando está separado de su estrella). Así se pueden intentar detectar las moléculas que son responsables de la absorción de la luz. El segundo método consiste en la obtención del espectro estelar cuando (1) el planeta está situado delante de la estrella y (2) cuando está escondido tras la estrella. La resta de ambos espectros representará el espectro del planeta, a partir del que se podría inferir la composición de su atmósfera.

Hasta la fecha no se han podido obtener muchos espectros detallados de exoplanetas, pues estas observaciones están en el límite de las prestaciones ofrecidas por

los mayores telescopios del mundo. Sin embargo, en algunos exoplanetas se ha detectado claramente agua, monóxido de carbono y sodio. En otros casos se puede inferir la presencia de ciertas características atmosféricas, como nubes y nieblas.

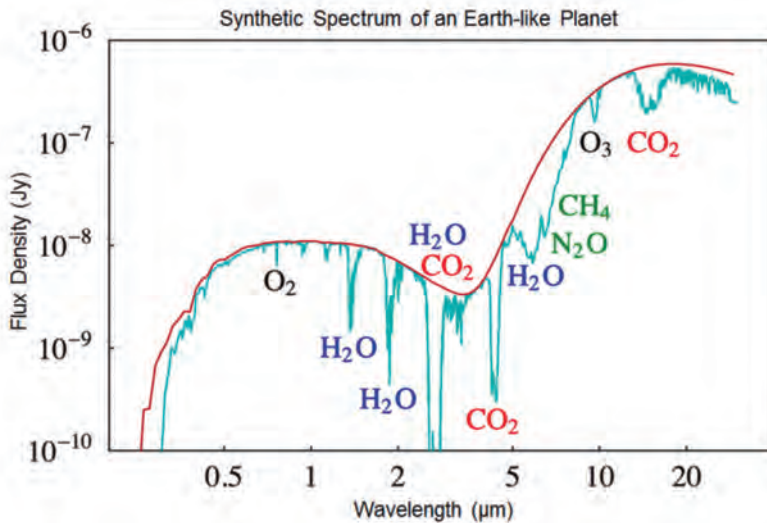


Figura 21. El espectro de un planeta con vida, como la Tierra, mostrará ‘biomarcadores’. El agua, el dióxido de carbono y el óxido nitroso pueden señalar la presencia de una biosfera; mientras que el metano, el oxígeno molecular y el ozono, dependiendo del contexto (por ejemplo, si el planeta se encuentra en la zona de habitabilidad circunestelar) podrían revelar la presencia de vida.

Por supuesto, resulta más sencillo el estudio de las grandes atmósferas de los exoplanetas gigantes gaseosos. Pero, recientemente, se han detectado las atmósferas de algunos exoplanetas de tipo terrestre. Estas detecciones se multiplicarán con la puesta en funcionamiento de una nueva generación de telescopios extremadamente grandes (como el europeo ELT que se encuentra en construcción en el norte de Chile) y son estas medidas las que pueden conducirnos a la posible detección de signos de vida. En efecto, existen moléculas como el metano que pueden considerarse como ‘biomarcadores’, es decir, moléculas que detectadas en el espectro podrían indicarnos la presencia de vida en un exoplaneta.

El futuro de la investigación exoplanetaria

El estudio de las atmósferas exoplanetarias será sin duda uno de los temas de investigación más importantes en el futuro de la ciencia de los exoplanetas pues,

como decimos, en este estudio radica la posibilidad de detectar algún signo de vida. Pero hay muchos otros temas de investigación que hacen de esta rama de la astrofísica una de las más dinámicas de nuestros días.

Los exoplanetas más cercanos a la Tierra poseen un gran interés pues en ellos se puede lograr un detalle en las observaciones que es mucho mayor que el que se alcanza en objetos más lejanos. Por eso, el planeta detectado en torno a la estrella Próxima Centauri, a tan solo 4,24 años luz de distancia es un objeto de estudio prioritario.

Por analogía a nuestro sistema solar, muchos exoplanetas deben de estar acompañados por lunas. La detección de tales exolunas no es una mera curiosidad, pues puede darse el caso de que, aunque un exoplaneta no sea apto para la vida, alguna de sus lunas sí pueda serlo. También tiene interés detectar cinturones de asteroides e incluso cometas alrededor de otros mundos.



Figura 22. Recreación del planeta Próxima Centauri b. Este exoplaneta, el más cercano a la Tierra de los conocidos, fue descubierto en el año 2016 por un equipo liderado por el astrónomo español Guillem Anglada Escudé mientras trabajaba en la Universidad Queen Mary de Londres. El planeta orbita dentro de la zona de habitabilidad de su estrella. Su distancia es de 4,24 años luz. | ESO.

Otro tema de interés que se plantea es qué fracción de planetas puede sobrevivir a la evolución estelar tardía. Es decir, cuando una estrella agota su com-

bustible nuclear y explota como nebulosa planetaria o supernova, cabe esperar que los planetas más cercanos resulten vaporizados o que queden embebidos por la explosión. Pero quizás los planetas más externos puedan sobrevivir a esta catástrofe y puedan prolongar su vida durante un tiempo mucho más dilatado.

También es interesante saber si todos los planetas se forman en las fases iniciales de la evolución estelar o si puede haber planetas que se formen en etapas de la evolución estelar más avanzadas a las que acabamos de hacer alusión, por ejemplo, después de que una estrella haya explotado para formar una nebulosa planetaria o una supernova. El material eyectado al espacio mediante tales explosiones podría quizás dar lugar a la formación de una nueva generación de planetas que podría tener características diferentes a los planetas de primera generación.

Sin ninguna duda el zoo de los exoplanetas seguirá poblándose con nuevos y sorprendentes mundos, cada vez más peculiares y extraños. Planetas en torno a estrellas muy jóvenes o muy viejas, en torno a estrellas binarias o incluso múltiples, planetas de características físicas y composiciones químicas muy diversas.



Figura 23. Recreación de un posible paisaje en Próxima Centauri b, el exoplaneta potencialmente habitable más cercano de los conocidos.

Tras el éxito de las misiones espaciales CoRoT y Kepler, otros telescopios también montados en plataformas espaciales, como TESS (lanzado en 2018), CHEOPS (lanzado en diciembre de 2019), PLATO (previsto hacia 2026) y ARIEL (después de 2028), se dedicarán exclusivamente al estudio de los exoplanetas. Estas misiones espaciales se completarán con las observaciones puntuales que realice el gran telescopio espacial James Webb (el sucesor del Hubble) y los nuevos telescopios gigantes, de más de 30 metros de diámetro, que ya se encuentran en construcción en tierra, entre los que destaca el europeo ELT que está siendo construido mediante la colaboración de 16 países europeos, entre ellos España, además de Chile, en Cerro Armazones (desierto de Atacama, Chile).

■ Conclusión: gran ciencia, pequeña ciencia

Hemos visto cómo, a partir de los trabajos iniciales de Mayor y Queloz, con aquel pequeño telescopio casi en desuso, pronto se desencadenó mucha ‘gran ciencia’. Algunos de los mayores telescopios del mundo han dedicado un buen porcentaje de su tiempo a detectar y a caracterizar exoplanetas y se han lanzado telescopios al espacio consagrados a este fin. Como se ha dicho, se han catalogado hoy más de 4.000 exoplanetas, muchos de ellos con características similares a la Tierra. Según declaraciones del propio Mayor, en unos diez o quince años tendremos buenos planetas candidatos en los que buscar vida. El estudio de los exoplanetas es hoy uno de los principales temas tractores de la gran ciencia. Si Mayor y Queloz comenzaron la pesca de los exoplanetas con caña de pescar, los proyectos actuales de gran ciencia utilizan técnicas de la pesca de arrastre masivo tratando de que ni una sola estrella, ni un solo exoplaneta, pueda escapar al escrutinio de los grandes equipos de trabajo.

Y algo parecido sucedió con las ideas de Peebles en cosmología expuestas al principio de este artículo. Sus predicciones teóricas desembocaron en los lanzamientos de los telescopios espaciales COBE, WMAP y PLANCK que han proporcionado la información clave de referencia de toda la cosmología actual: el mapa del fondo cósmico de microondas, una auténtica piedra de Rosetta en la que está escrita la historia del universo.

Vemos pues cómo, al igual que en muchas otras ocasiones, esta gran ciencia de los exoplanetas y de la cosmología, con telescopios espaciales y equipos multitudinarios trabajando hacia un objetivo común, surgió de la ciencia pequeña. De

esos estudios modestos que desbrozan los caminos sinuosos por los que deambulan a veces los científicos, separándose de las grandes autopistas de la ciencia oficial. En mi opinión, este último Nobel de Física pone de manifiesto la belleza de la ciencia pequeña, el trabajo discreto, abnegado e individual en el que prima la curiosidad, la intuición y el deseo de saber por saber.

■ El Premio Nobel 2019

El día 8 de octubre de 2019, el Profesor Göran K. Hansson, Secretario General de la Real Academia de Ciencias de Suecia anunciaba la concesión del Premio Nobel de Física 2019 a James Peebles, Michel Mayor y Didier Queloz “por sus contribuciones a nuestra comprensión de la evolución del universo y del lugar de la Tierra en el cosmos”. Mayor y Queloz, ambos de la Universidad de Ginebra, compartían la mitad del premio “por el descubrimiento de un exoplaneta orbitando una estrella de tipo solar”, y James Peebles la otra mitad del galardón “por sus descubrimientos teóricos en física cosmológica”. Conviene resaltar que Mayor y Queloz habían sido galardonados en nuestro país en el año 2012 con el Premio Fronteras del Conocimiento en Ciencias Básicas que otorga la Fundación BBVA.

Se dio la circunstancia de que Michel Mayor recibió la noticia del Nobel mientras estaba en nuestro país, concretamente en San Sebastián, en el último día de unas vacaciones. Fue en la cafetería del aeropuerto de esa ciudad cuando al conectar su ordenador personal se encontró con una inundación de mensajes de felicitación. “Tengo móvil, pero casi no lo uso. Con el ordenador y el *e-mail* me basta. Tuvimos que salir de prisa para coger el vuelo a Madrid, así que fue al llegar al aeropuerto cuando volví a encender el ordenador y leí el *mail* de la Academia. Fue una gran sorpresa”, declaró en una entrevista concedida al diario *El Mundo*. Desde San Sebastián, Mayor voló a Madrid para impartir allí una conferencia a la que seguiría otra en Almagro. No modificó su agenda, pero naturalmente sus conferencias recibieron una atención inusitada.

Para Mayor, “el principal reto ahora es tratar de entender la física de la formación de estos planetas”. Pero, más a largo plazo, “lo que realmente queremos, el auténtico gran desafío, es entender si la vida es un fenómeno común en el universo. No sé cuándo podremos detectar si un planeta alberga vida, porque exige medidas muy difíciles que seguramente solo se podrán hacer desde



Figura 24. Michel Mayor en la cafetería del aeropuerto de San Sebastián enterándose de que se le había concedido en Nobel de Física 2019, una fotografía que se hizo viral en las redes sociales. | nobelprize.org.

el espacio, pero sabemos que la vida deja una impronta en la atmósfera de los planetas. Estoy seguro de que las agencias espaciales considerarán este objetivo una prioridad”. “Pienso que dentro de 10 o 15 años tendremos planetas candidatos para buscar vida.”

El 10 de diciembre de 2019, como cada año en esa fecha, durante una deslumbrante ceremonia en Estocolmo, se entregaron los Premios Nobel 2019 (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. La ceremonia de entrega de los premios puede verse en el siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=qMarhtaDvnk>

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.



Figura 25. Ceremonia de entrega de los Premios Nobel en Estocolmo. 10 de diciembre de 2019. | nobelprize.org.

Vemos pues que las motivaciones de la invención de la dinamita, los estudios de cosmología o de los exoplanetas fueron de índole muy diferente. Sin embargo, como en el caso de la dinamita, la detección de exoplanetas o de anisotropías en el fondo cósmico de microondas conlleva una gran dosis de innovación tecnológica. Las décadas de ingeniería invertidas en los observatorios astronómicos han supuesto crear sistemas tecnológicos de altísima precisión. 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

James Peebles



Philip James Edwin Peebles nació en St. Boniface, actual Winnipeg, Canadá, graduándose en la Universidad de Manitoba en 1958. En el otoño de ese mismo año, se trasladó como estudiante de posgrado a la Universidad de Princeton en Nueva Jersey (Estados Unidos) donde se doctoró en 1962 bajo la supervisión del físico y astrónomo Robert Dicke quien había sido profesor de Albert Einstein en dicha universidad. A partir de aquí, Peebles desarrolló toda su carrera en Princeton.

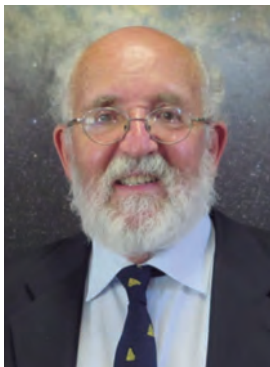
En la década de los sesenta del siglo pasado, el interés por el estudio de la cosmología física era muy escaso: se consideraba un tema de trabajo sin solución posible. Pero, lejos de desanimarlo a proseguir su trabajo, Peebles tomó este reto como un desafío consiguiendo contribuciones muy importantes a la nucleosíntesis del Big Bang, la materia oscura y la energía oscura pudiéndosele considerar pionero principal en la teoría de la formación de estructuras cósmicas en la década de 1970. Junto con Dicke y otros colegas, predijo la radiación cósmica de fondo de microondas.

A manera de resumen, podemos asegurar que James Peebles ha luchado por elevar la cosmología a la categoría de una subdisciplina cuantitativa de la física.

Antes del Premio Nobel, Peebles había recibido múltiples distinciones: Medalla Eddington de la Real Sociedad Astronómica Británica (1981), Premio Heineman (1982), Miembro de la Royal Society (1982), Medalla Bruce (1995), Medalla Oskar Klein (1997), Medalla de oro de la Royal Astronomical Society (1998), Premio Gruber en Cosmología (2000, junto a Allan Sandage), Premio Harvey (2001), Premio Shaw (2004), Premio Crafoord (2005, junto a James E. Gunn y Martin Rees), Medalla Dirac (2013), Miembro de la Orden de Manitoba (2017). Es miembro de honor de la Royal Astronomical Society of Canada y en su honor se dio su nombre, Peebles, al asteroide 18242.

En la actualidad, es Profesor titular emérito de la cátedra Albert Einstein de Ciencia en la Universidad de Princeton, EE.UU.

Michel Mayor



Michel Gustave Édouard Mayor nació el 12 de enero de 1942 en la ciudad suiza de Lausana. Estudió física en la Universidad de Lausana y obtuvo su doctorado en astronomía en el Observatorio de Ginebra en 1971 con una tesis doctoral dedicada al estudio de la estructura espiral de las galaxias. A partir de este momento comenzó a trabajar como profesor en esta universidad, puesto que ocupó hasta su jubilación en 2007. En el periodo 1998 a 2004, fue director del Observatorio de Ginebra.

También ha prestado sus servicios en el Observatorio de Cambridge, el Observatorio Europeo Austral (ESO) en Chile y en los observatorios de Hawái.

Las líneas de investigación principales de Mayor comprenden la detección de planetas extrasolares (exoplanetas), instrumentación, propiedades estadísticas de estrellas dobles, dinámica de cúmulos globulares, estructura galáctica y cinemática.

Con el fin de mejorar la precisión de la detección de la velocidad radial de los objetos estelares a partir de espectroscopía Doppler, Mayor desarrolló el espectrómetro COREVAL alcanzando una precisión de 1 km/s. Descubrió así que algunos sistemas estelares binarios pueden ser sistemas estelares con un objeto subestelar en su órbita. Junto con quien fue su doctorando, Didier Queloz, desarrollaron el espectrógrafo ELODIE que se instaló en 1994 en el Observatorio de Alta Provenza (Francia) mejorando la resolución hasta conseguir 15 m/s. En julio de 1995, descubrieron un gran planeta que orbitaba 51 Pegasi: se denominó 51 Pegasi b y se le calificó como un Júpiter caliente.

En 1998, Mayor recibió el premio suizo Marcel Benoist en reconocimiento a su trabajo y su importancia para el progreso de la humanidad. Recibió el Premio Jules Janssen de la Société Astronomique de France en 1998. En 2000, fue galardonado con el Premio Balzan. Cuatro años después, fue galardonado con la Medalla Albert Einstein. En 2005, recibió el Premio Shaw en Astronomía, junto con el astrofísico estadounidense Geoffrey Marcy. Fue nombrado caballero de la Legión de Honor francesa en 2004.

Ha recibido doctorados honoris causa de ocho universidades: Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica, 2001), Instituto Federal Suizo de Tecnología de

Lausana (EPFL, 2002), Universidad Federal de Rio Grande do Norte (Brasil, 2006), Universidad de Uppsala (Suecia, 2007), Observatorio de París (Francia, 2008), Université Libre de Bruxelles (Bélgica, 2009), Universidad de Provenza (Marsella, Francia, 2011), y la Universidad Joseph Fourier (Grenoble, Francia, 2014).

En colaboración con Pierre-Yves Frei, Mayor escribió el libro “*Les Nouveaux mondes du Cosmos*”, que fue galardonado con el premio Livre de l’astronomie 2001 por el 17 Festival de Astronomía Haute Maurienne.

Michael Mayor es miembro de la Academia de Ciencias de Francia, Academia Estadounidense de las Artes y las Ciencias y de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos.

Otras distinciones recibidas previamente al Premio Nobel incluyen el Premio de la Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento de Ciencias Básicas (2011, también junto a su antiguo alumno Didier Queloz) por desarrollar nuevos instrumentos astronómicos y técnicas experimentales que llevaron a la primera observación de planetas alrededor de estrellas similares al Sol, la Medalla de Oro de la Royal Astronomical Society (2015) y el Premio Wolf en Física (2017). El asteroide 125076, descubierto por el astrónomo aficionado suizo Michel Ory en el Observatorio Jura en 2001, fue nombrado Michelmayor en su honor.

En la actualidad, es profesor emérito de la Universidad de Ginebra.

Didier Queloz



Didier Queloz Patrick nació el 23 de febrero de 1966 en la ciudad suiza de Ginebra. En su Universidad realizó todos sus estudios obteniendo el grado de Master of Science en 1990, un Master of Advanced Studies en Astronomía y Astrofísica en 1992 y el grado de Doctor en 1995 siendo su director de tesis Michael Mayor.

Queloz colaboró con su tutor, el Dr. Mayor, en el desarrollo del espectrógrafo de gran resolución, ELODIE, que se instaló en el Observatorio de Alta Provenza (Francia) y con el que consiguieron descubrir el exoplaneta 51 Pegasi b.

A partir de sus trabajos en exoplanetas, Queloz se convirtió en profesor en la Universidad de Ginebra, y en 2013, también ocupó un puesto de profesor en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge. Colaboró con el equipo del Reino Unido del programa Wide Angle Search for Planets (WASP) que busca detectar exoplanetas mediante fotometría de tránsito, ayudando a proporcionar confirmación espectroscópica de sus hallazgos en 2007.

Participó en el proyecto CoRoT, un telescopio espacial para detección de exoplanetas, y ayudó a confirmar la primera detección de un exoplaneta rocoso, COROT-7b, en 2011. Ahora está involucrado en el desarrollo de un sucesor terrestre más avanzado del sistema WASP. El equipo científico de CHEOPS está presidido por Queloz.

También es científico visitante en el Instituto MIT Kavli de Astrofísica e Investigación Espacial.

Antes del Nobel, Queloz recibió el Premio 2011 de Fronteras del Conocimiento de la Fundación BBVA de Ciencias Básicas (junto a Michel Mayor) por desarrollar nuevos instrumentos astronómicos y técnicas experimentales que condujeron a la primera observación de planetas fuera del sistema solar. En 2017, recibió el Premio Wolf en Física. El asteroide 177415 Queloz fue bautizado así en su honor.

En la actualidad, trabaja en la búsqueda de planetas extrasolares en el Grupo de Astrofísica del Laboratorio Cavendish, Cambridge.

■ Bibliografía

Anglada-Escudé, A., et al. (2016). *A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri*, Nature 536, 437.

Bachiller, R. (2019). *El universo improbable*. La esfera de los libros.

Beaulieu, J.-P., et al. (2006). *Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing*. Nature 439, 437.

Goldsmith, D. (2018). *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*. Harvard University Press.

Mayor, M., Queloz, D. (1995). *A Jupiter-mass companion to a solar-type star*, Nature 378, 355.

Marcy, G.W, Butler, R.P. (1996). *A planetary companion to 70 Virginis*, Astrophys. J. 464, L147.

Peebles, P.J.E. (1971). *Physical Cosmology*, Princeton University Press.

Peebles, P.J.E. (1965). The black-body radiation content of the Universe and the formation of galaxies, Astrophys. J. 142, 1317.

Peebles, P.J.E., Page, L.A., Partridge, R.B. (2009). *Finding the Big Bang*, Cambridge University Press.

Peebles, P.J.E., Yu, J.T. (1970). *Primeval adiabatic perturbation in an expanding Universe*, Astrophys. J. 162, 815.

Penzias, A.A, Wilson, R.W. (1965). *A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*, Astrophys. J. 142, 419.

Perryman, M. (2018). *The Exoplanet Handbook*, Cambridge University Press.

Planck Collaboration, (2018). Planck results I. Overview and the cosmological legacy of Planck, arxiv:1807.06205.

Planck Collaboration, (2018). Planck results, VI. Cosmological parameters, arxiv:1807.06209.

Summers, M., Trefil, J. (2018). *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets and the New Search for Life Beyond our Solar System*. Smithsonian Books.

Tasker, E. (2019). *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*. Bloomsbury Sigma.

Wolszczan, A., Frail, D.A. (1992). Nature 355,145.

Wolszczan, A. (1994). *Confirmation of Earth Mass Planets Orbiting the Millisecond Pulsar PSR B1257+12*. Science 264 (5158): 538-542.

■ Recursos de Internet

The Extrasolar Planet Enciclopediae - www.exoplanet.eu

Nobel Prize – www.nobelprize.org

Wikipedia

Premio Nobel de Química 2019

**MICHAEL STANLEY WHITTINGHAM,
JOHN BANISTER GOODENOUGH Y
AKIRA YOSHINO POR SUS
CONTRIBUCIONES AL DESARROLLO
DE LA PILA RECARGABLE DE ION LITIO**



El anverso de la medalla muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y defunción OB MDCCCXCVI. 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.

Inmaculada Ortiz Uribe

■ Resumen

Los sistemas de almacenamiento de energía, SAE, y dentro de este grupo las baterías, tienen un papel fundamental en la sociedad actual, en la que contribuyen a avanzar hacia una economía baja en carbono y a un desarrollo más sostenible. Destacan tres campos de mayor impacto, i) en la creciente penetración de energía a partir de fuentes renovables en el mix energético, ii) para hacer frente

al espectacular desarrollo de los sistemas portátiles, e iii) en el incremento de la flota de vehículos eléctricos.

Desde la pila voltaica construida por Alessandro Volta, alrededor de 1800, se han invertido muchos esfuerzos en el desarrollo de baterías con mejores características y prestaciones. Es en la década de 1970-1980 cuando se da un impulso decisivo con el desarrollo de las baterías de litio, cuya comercialización a gran escala comienza en 1991.

Tres científicos han liderado la investigación cuyos resultados han tenido un papel clave en el desarrollo de las actuales baterías de litio y por ello han sido galardonados con el Premio Nobel de Química 2019: M.S. Whittingham, a quien se atribuye la primera batería de litio, en 1976, basada en las reacciones reversibles de intercalación; J.B. Goodenough quien incorporó a la batería anterior nuevos cátodos basados en óxido de cobalto aumentando sensiblemente la fuerza electromotriz de la pila y A. Yoshino quien sustituyó el litio metal por ánodos con iones litio intercalados aumentando la seguridad de la pila, factor decisivo en su comercialización.

En este artículo se hace un recorrido por la trayectoria de las baterías destacando la contribución de los tres científicos galardonados y finalizando con un resumen de las perspectivas futuras.

■ El panorama energético

La energía eléctrica impulsa nuestras vidas, dónde y cuándo la necesitamos y en la actualidad es accesible cada vez con mayor eficiencia, incluso en ausencia de puntos de carga. En un escenario en que la demanda mundial de electricidad se estima que se va a duplicar hacia la mitad del siglo XXI y triplicar para el final de siglo, proveer la requerida seguridad energética junto a la creciente preocupación asociada al uso de combustibles fósiles, tanto desde el punto de vista ambiental como de la limitación de recursos, incentiva el desarrollo de tecnologías para obtener energía eléctrica a partir de fuentes renovables. En este campo las energías solar y eólica son actualmente las más abundantes y disponibles. La radiación solar que llega a la tierra en 1 hora es suficiente para satisfacer la necesidad energética mundial durante 1 año. De la misma manera, si se aprovecha un pequeño porcentaje de la energía eólica disponible puede suponer una impor-

tante contribución para satisfacer la demanda mundial; ello ha motivado el rápido crecimiento y desarrollo de las tecnologías para recuperar energía a partir del sol y del viento. Con una potencia instalada, en 2019, de 624 GW eólicos y 607 GW de solar fotovoltaica, se espera que superen la contribución del carbón en el mix energético hacia mediados de la década 2020-2030; hacia el año 2040 se estima que más de la mitad de la electricidad se generará a partir de fuentes con baja huella de carbono en las que el papel principal será desempeñado por la eólica y solar fotovoltaica (Word Energy Outlook, 2019).

Sin embargo, tanto la energía solar como la eólica no tienen una generación constante. La variabilidad asociada a su generación en la actualidad es amortiguada mediante la energía generada en centrales eléctricas (que mayoritariamente utilizan combustibles fósiles). Es frecuente que la energía eólica varíe en minutos, horas o días presentando picos de máxima generación durante la noche cuando la demanda es baja; así durante el día se puede pasar de periodos en los que se generen algunos GW a otros periodos en los que la generación disminuye hasta unos pocos o incluso cero MW. La variabilidad también es una característica asociada a la energía solar; únicamente se genera durante el día y disminuye en días nublados. Otra dificultad que es necesario abordar es que los puntos de generación de energía están ubicados en lugares concretos y en general se encuentran alejados de los puntos de consumo. En este escenario, la intermitencia en la generación de energía a partir de fuentes renovables demanda sistemas de almacenamiento de energía eficientes y de bajo coste. Los SAEs pueden dar respuesta a las necesidades de la red de distribución incluyendo aspectos tales como, equilibrar el suministro y la demanda, hacer frente a situaciones de emergencia, suministro de energía desde los picos de generación hasta periodos sin pico etc. Pueden además resolver problemas de calidad puntuales (Yang et al, 2011). En la figura 1 se muestra un esquema de las aplicaciones del almacenamiento de energía en la generación, transmisión, distribución, usuario final y en la red eléctrica.

El transporte es otro sector con demanda creciente de energía eléctrica. El uso del petróleo para vehículos con motor de combustión alcanzará su punto máximo a mediados de la década 2020-2030, en la que crecerá el número de vehículos eléctricos hasta ser mayoritarios. Se espera que en 2040 se llegue a 300 millones de coches eléctricos en las carreteras; este desarrollo demanda SAEs eficientes y de bajo costo.

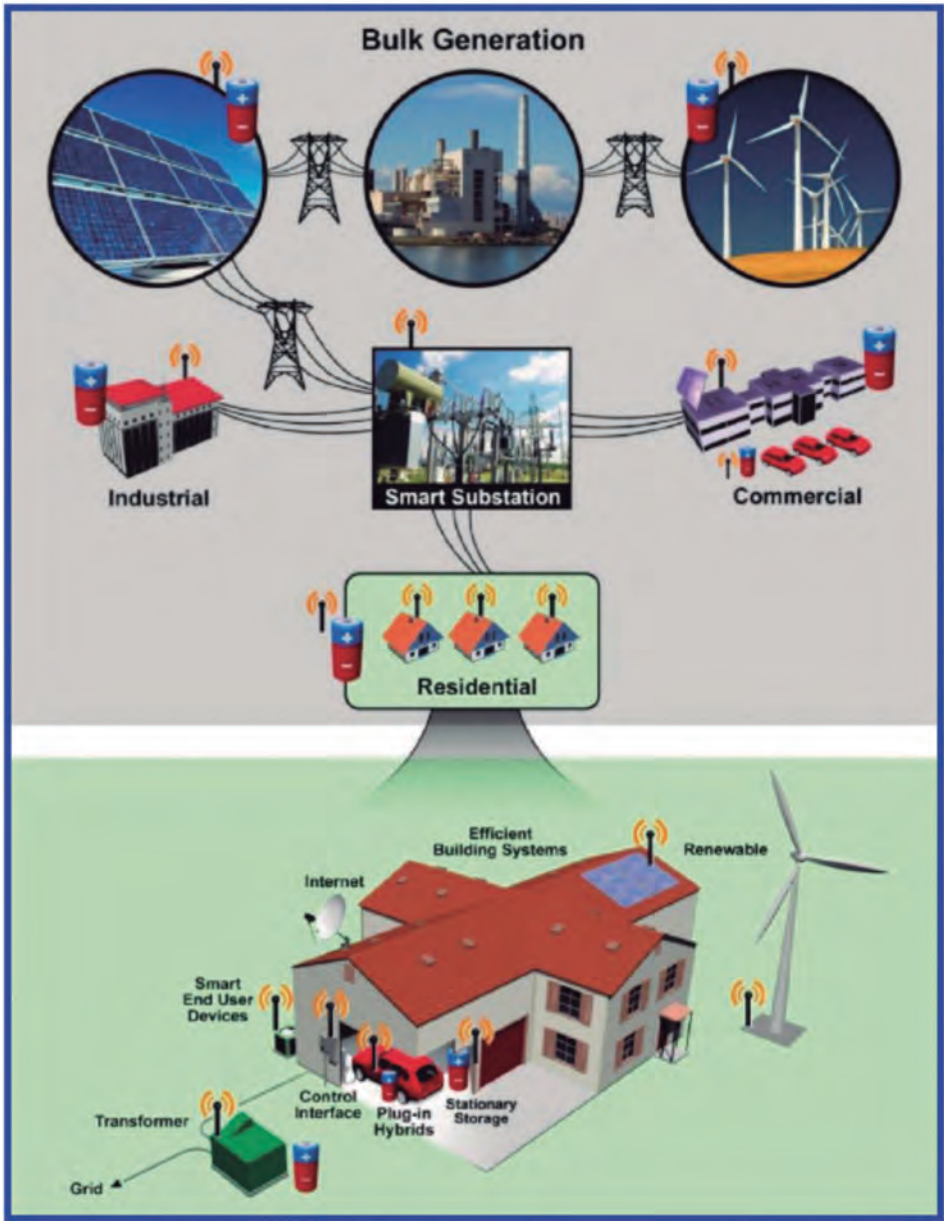


Figura 1. Esquema de las aplicaciones del almacenamiento de electricidad en la generación, transmisión, distribución, usuario final y en la red eléctrica integrada con las fuentes renovables y conexión a vehículos eléctricos en comunicación bidireccional entre los puntos de carga y los de generación o las redes de distribución.

■ Los sistemas de almacenamiento de energía

Los SAEs, y de forma específica los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, son componentes fundamentales de la industria de proceso, industria de servicios, en la expansión de las energías renovables, en la progresiva incorporación del transporte eléctrico y en todos los dispositivos electrónicos portátiles actuales (Smart phones, iPad, iPod etc) y futuros (figura 2) (Wittingham, 2011). Un sistema de almacenamiento de energía, cuando da servicio a una red eléctrica, almacena energía eléctrica durante el periodo de carga, en situaciones en que la generación de energía supera la demanda e inyecta energía eléctrica a la red, en la descarga, cuando la generación es insuficiente. Inicialmente, este servicio se realizaba mediante turbinas de gas o vapor, con una serie de limitaciones; en la actualidad, las tecnologías con potencial para almacenar energía a partir de fuentes renovables se pueden clasificar en 2 grupos: 1) Las tecnologías que almacenan electricidad directamente en cargas eléctricas tal como los capacitadores o supercapacitores, que son altamente eficientes pero tienen una densidad energética baja y en general un tiempo de descarga pequeño, y 2) Tecnologías en que la energía eléctrica se convierte en otra forma de energía tal como cinética, potencial o química. Las baterías son los dispositivos mayoritarios del grupo 2 y funcionan mediante la transformación electroquímica de energía; almacenan energía eléctrica a través de su conversión en compuestos químicos y la transformación se hace reversible para adaptarse a la demanda. Gracias a las baterías es posible conseguir un equilibrio en el tiempo en la cadena de suministro, incluso en situaciones en las que no se genera energía.

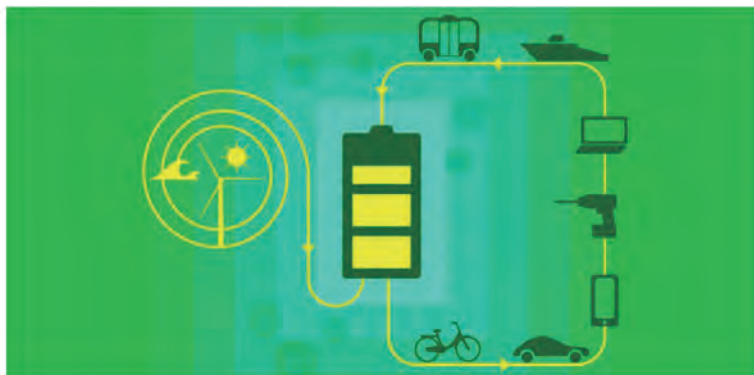


Figura 2. Cadena de servicio de las baterías.

Una consecuencia de la tecnología de las baterías modernas es que los vehículos eléctricos están aumentando su popularidad; la evolución ha pasado de una presencia moderada de vehículos eléctricos, a principios del siglo XX [en 1900 en EEUU había: 1681 coches de vapor, 1575 coches eléctricos, y solamente 936 coches con motor de explosión (Montiel 2019), (figura 3)], a un crecimiento insostenible de los coches con motor de explosión impulsados por combustibles fósiles que ya a mediados del siglo XX contribuyeron al deterioro de la calidad del aire en muchas ciudades. Esta situación junto a la alarma asociada al carácter limitado de las reservas de petróleo, motivó que tanto las empresas fabricantes de vehículos como de transformación de petróleo invirtieran esfuerzos en el desarrollo del vehículo eléctrico y en fuentes alternativas de energía hasta llegar a la situación actual en la que los vehículos eléctricos avanzan en el camino de desplazar a los vehículos impulsados por combustibles fósiles (figura 4). La excepción, que puede modificar la tendencia, viene del creciente consumo de vehículos más grandes y más pesados, que son más difíciles de impulsar eléctricamente y que por km consumen un 25% más de combustible que los vehículos de tamaño medio (World Energy Outlook, 2019).



Figura 3. Coche eléctrico belga “Jamais Contente” que en 1899 alcanzó 104 km/h.

Gran parte de los logros conseguidos ha sido posible en gran medida gracias a las baterías de ion-litio. Este tipo de baterías ha revolucionado la tecnología de almacenamiento de energía y ha impulsado la comercialización y uso de los dispositivos portátiles. Gracias a su elevado potencial y a su alta densidad energé-



Figura 4. Chevrolet Corvette Z06 en el que su motor gasolina de 500 caballos ha sido sustituido por un sistema eléctrico de 700 caballos. Alcanza una velocidad de 331 km/h. Julio 2016.

tica y capacidad, este tipo de baterías ha contribuido a mejorar nuestras vidas, y previsiblemente continuará haciéndolo en los próximos años.

Sin embargo, el desarrollo de las baterías, en general, ha necesitado superar un gran número de dificultades y constituye en la actualidad un gran reto, sobre todo lo que se refiere a las baterías basadas en litio. Desde que Alessandro Volta dio a conocer su famosa “pila” alrededor de 1800, se han invertido enormes esfuerzos en el desarrollo de las baterías. Los avances han sido lentos y únicamente se han conseguido algunas configuraciones de baterías eficientes a lo largo de los años. Un ejemplo son las baterías de plomo-ácido descubiertas a mediados del siglo XIX (Mantell, 1980). Afortunadamente, los descubrimientos resultantes de esfuerzos multidisciplinarios en los que se han conjugado conocimientos de electroquímica, química orgánica/inorgánica, ciencia de materiales etc., y el desarrollo de la batería de ion-litio configuran una realidad que ha cambiado el mundo.

■ Fundamentos de una batería

Las baterías tienen cuatro elementos fundamentales: un electrodo negativo, un electrodo positivo, un electrolito y un circuito externo. El fundamento del funcionamiento de una batería es relativamente sencillo en su configuración básica (figura 5). La celda está constituida por dos electrodos, cada uno conectado a un circuito eléctrico, y están separados por un electrolito que contiene las especies

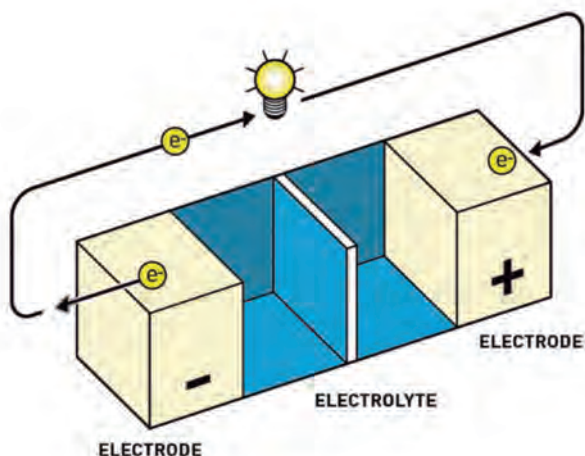


Figura 5. Funcionamiento de una batería sencilla en modo descarga (elemento galvánico). Los procesos redox que tienen lugar de forma espontánea en los electrodos originan la corriente eléctrica en el circuito. En el modo de carga (celda electrolítica), en los electrodos tienen lugar las reacciones redox impulsadas eléctricamente siendo el inverso del proceso espontáneo.

cargadas. Frecuentemente, los electrodos están físicamente separados por una barrera que impide que entren en contacto físico, y de esta manera impide la formación de cortocircuitos. En el modo de descarga, cuando la batería proporciona corriente eléctrica, tiene lugar un proceso de oxidación en el electrodo negativo (ánodo), que da lugar al movimiento de electrones desde el electrodo a través del circuito. En el electrodo positivo (cátodo) tiene lugar el proceso complementario de reducción, reponiendo los electrones en el circuito. El voltaje de la celda depende fundamentalmente de la diferencia de potencial entre los electrodos y de que el proceso global sea espontáneo. En las baterías recargables (secundarias) el proceso puede ser reversible y se puede utilizar electricidad de una fuente externa para facilitar las reacciones redox que tienen lugar en los electrodos. Este proceso es energéticamente dependiente y no es espontáneo.

Algunos conceptos que caracterizan el funcionamiento de una batería

El voltaje nominal de una batería secundaria completamente cargada es próximo al valor en circuito abierto. La capacidad de una batería es la cantidad de

electricidad que puede proporcionar cuando está completamente cargada; la electricidad generada depende de factores como la magnitud de la carga, el ciclo de funcionamiento, voltaje de parada y de la temperatura. Las unidades para expresar la capacidad son amperios-hora (Ah), siendo $1 \text{ Ah} = 3.600 \text{ culombios}$.

La energía total que proporciona una batería, expresada en julios o en vatios-hora, es el producto del voltaje por la capacidad. Para una batería dada, la energía liberada por masa de batería se conoce como energía específica de la batería y se expresa en Wh/kg o Wh/L. Existen aplicaciones como, por ejemplo, el arranque de un motor en que lo importante es la potencia que puede suministrar la batería durante un periodo de tiempo corto; esto se expresa mediante la potencia específica (w/kg) o densidad de potencia (w/L).

■ Antecedentes

El desarrollo de las baterías, como sistemas de almacenamiento de energía, recibió un impulso decisivo en la década de 1970-80 cuando la crisis del petróleo motivó que la industria del automóvil anunciara el desarrollo, proliferación y comercialización de vehículos con motores eléctricos que utilizaban baterías.

Hoy en día todos nos podemos considerar usuarios y consumidores de baterías en un amplio abanico de servicios. Dentro de las baterías, actualmente en uso, podemos distinguir las baterías “primarias”, alcalinas o convencionales que no son recargables, y que se usan en múltiples aplicaciones, algunas tan vitales como la alimentación de marcapasos (Ruiz-Vanoye y Díaz-Parra, 2018). El segundo grupo está formado por las baterías “secundarias” o recargables que satisfacen necesidades muy distintas.

La pila voltaica constituye el primer antecedente de batería primaria, no recargable; se construyó con discos alternantes de 2 metales, uno de los cuales era estaño o zinc y el otro cobre o plata; los metales se encontraban separados por cartón o cuero sumergidos en un electrolito acuoso. Cada celda de la batería estaba constituida por un par de discos metálicos y una capa de electrolito y el conjunto de la pila contenía alrededor de 20 celdas. Durante la operación, en el caso de las baterías de Zn/Cu, el zinc metálico constituía el ánodo, liberando electrones al circuito y formando iones metálicos (oxidación), mientras que la reacción en el electrodo opuesto dependía de las condiciones de trabajo. En presencia de aire

el cobre metal se oxida parcialmente a óxido de cobre (II), CuO , que se reduce a Cu en el electrodo. En ausencia de aire, los protones presentes en el electrolito se reducen a hidrógeno gas sobre la superficie del cobre. El voltaje de la celda era aproximadamente 0,8-1,1V, dependiendo de la exposición al aire. Al conectar los polos del dispositivo completo, Volta demostró que la corriente generada podía producir una chispa. Tras la demostración del descubrimiento a Napoleón Bonaparte, este quedó tan impresionado que otorgó el título de conde a Volta.

Respecto de las baterías recargables, hasta hace unos años las baterías que dominaban el mercado eran de dos tipos: las baterías de plomo y las de níquel-cadmio. Las baterías de plomo-ácido, las primeras en aparecer en el mercado, presentaban la ventaja de su bajo coste y gran disponibilidad. El uso mayoritario de las baterías de plomo estaba destinado a cubrir las necesidades de arranque, iluminación e ignición en los automóviles, pero no tienen energía suficiente para mover el coche; en la actualidad la batería de plomo sigue utilizándose como batería de arranque en los automóviles. La batería de plomo fue estudiada inicialmente por Wilhem J. Sinsteden en 1854 y fue Gaston Planté en 1859-60 quien realizó la primera demostración (Mantell, 1980). La batería funciona con un principio similar a la pila voltaica expuesta al aire, pero constituye la primera batería secundaria que puede ser recargada. El término “secundaria” procede de los estudios de Nicolas Gautherot, quien observó, en 1801, pequeñas corrientes secundarias en cables desconectados que habían sido utilizados en experimentos de electroquímica. La batería de plomo-ácido está constituida por dos electrodos, al menos uno de ellos parcialmente oxidado a óxido de plomo (PbO_2), que están separados por un electrolito que contiene ácido sulfúrico. Durante la descarga, tiene lugar el proceso de oxidación en el electrodo de plomo (ánodo), formando protones, electrones y sulfato de plomo (PbSO_4), a la vez que el óxido de plomo se reduce a PbSO_4 en el cátodo. En este caso el potencial de la celda es alrededor de 2V, y por lo tanto una batería típica de 12 V para un automóvil está constituida por 6 celdas conectadas en serie.

En 1899 tuvo lugar otro hito en el desarrollo de las baterías, cuando Waldemar Jungner describió las primeras baterías níquel-hierro (Ni-Fe) y níquel-cadmio (Ni-Cd). Las baterías de níquel-cadmio se han empleado mayoritariamente en artículos de electrónica como videocámaras y ordenadores o teléfonos móviles con la característica de que se descargan solas demasiado rápidamente y presentan un peculiar efecto memoria que reduce su capacidad. Poco tiempo después, Thomas A. Edison también describió este tipo de baterías. Las necesidades de mejora de

estas baterías, especialmente el desarrollo de baterías más ligeras y con mayor densidad de energía ha sido un reto tecnológico presente durante muchos años, a lo que hay que añadir que los elementos que constituyen las baterías anteriores tienen elevada toxicidad, especialmente el plomo y el cadmio, lo que demanda procesos eficaces para su reciclado que disminuyan el impacto ambiental asociado a su vertido. En este camino ha aparecido una larga lista de baterías recargables, con características que se ajustan mejor a determinadas aplicaciones, tales como baterías sodio/azufre, zinc/aire, hidruro metálico/óxido de níquel, que se comercializó en 1989 o las baterías de litio.

■ Litio

A mediados del siglo XX, las limitadas densidades energéticas y capacidades de las baterías que se habían desarrollado hasta esa fecha, incentivaron la investigación de nuevas configuraciones que pronto se enfocaron hacia la utilización del litio. El litio es un elemento que se creó durante los primeros minutos del Big Bang pero no se conoció hasta 1817 cuando los químicos suecos Johan August Arfwedson y Jöns Jacob Berzelius lo purificaron a partir de una muestra de mineral de las minas Üto, situadas en el archipiélago de Estocolmo.

Berzelius decidió nombrar este elemento con el nombre griego de piedra “lithos”. El litio tiene número atómico 3 y es el metal más ligero de la tabla periódica con una densidad de $0,53 \text{ g/cm}^3$. Tiene únicamente un electrón en la capa externa, que tiene gran facilidad para abandonar el litio hacia otro elemento; es en esta situación en la que se forma el ion litio cargado positivamente y más estable que el litio metal (figura 6).

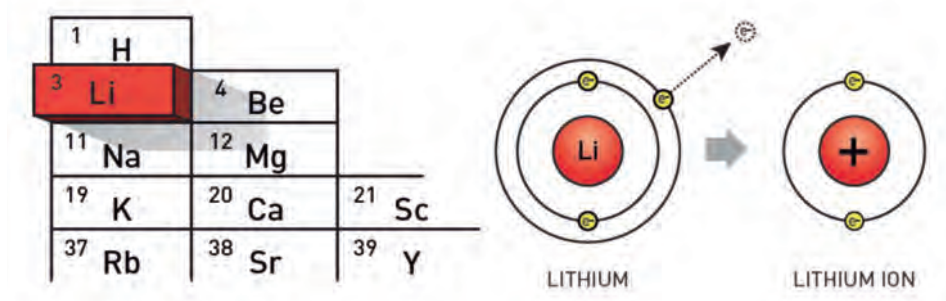


Figura 6. Litio y tabla periódica.

Al ser el litio el metal más ligero, da lugar a una capacidad específica alta y por ello permite obtener la misma energía con un peso muy inferior a otros metales (figura 7).

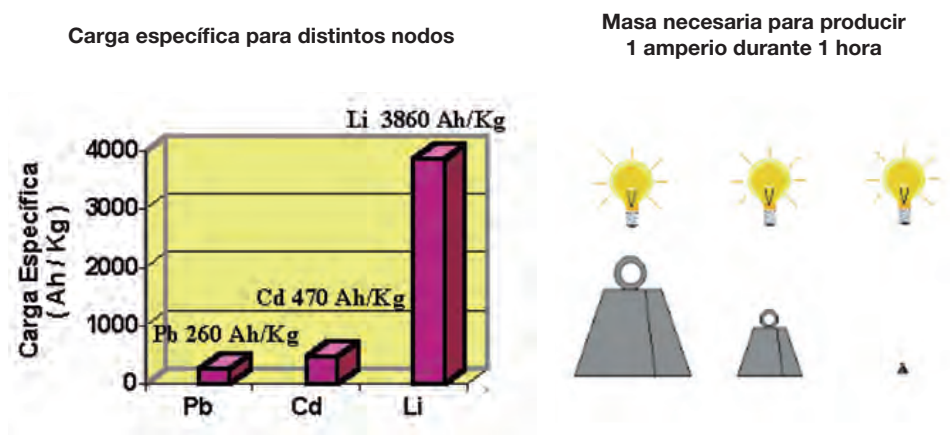


Figura 7. Carga específica de diferentes metales (ánodos).

En realidad, Arfwedson y Berzelius no encontraron metal litio puro, sino iones Li^+ formando sales. El litio metal es un elemento inestable, que debe ser almacenado en aceite para evitar su reactividad con el aire; la fuerte reactividad del litio es a la vez la mayor debilidad y fortaleza del metal.

En las primeras baterías de litio se combinaba un ánodo de litio con cátodos de ciertos óxidos de metales de transición formando celdas electroquímicas reversibles que presentan valores de voltaje superiores a otros sistemas y ello contribuye a una alta densidad de energía. El litio tiene un potencial estándar de reducción muy bajo (Li^+/Li de $-3,050 \text{ V}$ frente al electrodo estándar de hidrógeno, SHE), lo que lo hace especialmente adecuado para su uso en baterías de elevada densidad y elevado voltaje; tiene el mayor potencial electroquímico dando lugar a una capacidad energética teórica de 3860 Ah/kg . El valor tan negativo de su potencial de reducción le proporciona inestabilidad termodinámica en disolventes protónicos como el agua, o en ambientes con aire húmedo, donde reacciona muy fácilmente y ello limita el uso o construcción de las baterías de litio a la utilización de electrolitos no acuosos (Zubi et al, 2018).

■ Funcionamiento de las baterías de litio

Los primeros estudios de la electroquímica del litio tuvieron lugar alrededor de 1913 de la mano de Gilbert N. Lewis, pero el verdadero interés en las aplicaciones del litio en el desarrollo de baterías llegó en las décadas de 1960 y 1970. En una batería recargable de litio (figura 8), durante la descarga los iones litio (amarillos) cambian espontáneamente del electrodo negativo (negro) al electrolito (azul) y de este al electrodo positivo (rojo). El electrolito permite el paso de iones pero no de electrones. Al mismo tiempo, los electrones fluyen espontáneamente del electrodo negativo al positivo a través del único camino que tienen libre: a través del circuito eléctrico. A medida que avanza la descarga, el potencial de cada electrodo cambia de forma que su diferencia disminuye y cae por tanto el voltaje de la celda (ΔE) a medida que se saca carga eléctrica (Q) de la batería.

Durante la carga, los electrones son bombeados en el electrodo negativo y se extraen en el positivo. El electrodo negativo se hace más negativo y el positivo más positivo y así aumenta la diferencia de potencial entre ellos, o lo que es lo mismo, el voltaje de la celda. Este proceso fuerza también a los iones litio a salir del electrodo positivo y a intercalarse en el negativo.

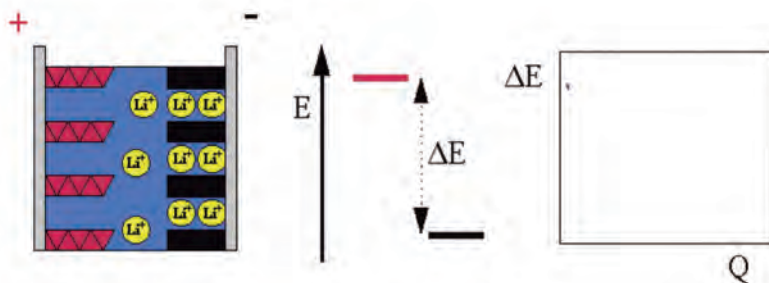


Figura 8. Batería de litio.

El uso del litio en las baterías estaba acompañado de una serie de dificultades; había que eliminar agua y aire y era necesario trabajar con electrolitos no acuosos, lo que implicaba que en su selección se debían considerar factores tales como el carácter inerte, punto de fusión, estabilidad redox, solubilidad de los iones y sales de litio, velocidad de transferencia ion/electrón, viscosidad etc. Los primeros estudios sobre el uso de electrolitos no acuosos aparecieron en 1958 en la tesis defendida por William S. Harris que había sido supervisada por Charles C. Tobias y que estudiaba el galvanizado de diferentes metales en varios disolventes

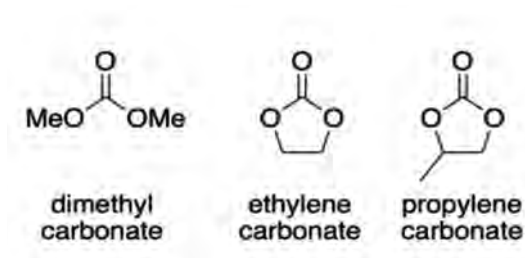


Figura 9. Disolventes basados en sales de carbonato utilizados en las baterías.

basados en ésteres cíclicos (figura 9). De los disolventes analizados, el carbonato de propileno presentó buenas propiedades para aplicaciones electroquímicas con metales alcalinos y por lo tanto se utilizó en combinación con haluros de litio. Este descubrimiento fue incorporándose poco a poco en estudios

posteriores y los carbonatos se han seguido utilizando como electrolitos hasta la actualidad. Prácticamente durante los mismos años, Y. Yao y J.T. Kummer estudiaron la conductividad iónica en sólidos y demostraron que los iones de sodio se pueden mover con la misma velocidad en sólidos que en sales fundidas. Kummer propuso el uso de esta configuración en las baterías en una patente publicada en 1969. A la vez, John Newman desarrolló la teoría de transferencia de iones en celdas electroquímicas.

Los avances en este campo eran objeto de interés tanto por parte de la comunidad científica como de grandes empresas preocupadas en ese momento por la amenaza de escasez de petróleo. Así, durante una conferencia organizada por Brian C.H. Steele, que tuvo lugar en Belgirate, Italia, en 1972, se profundizó sobre la transferencia de iones en celdas electroquímicas. En la conferencia se debatieron soluciones para la adaptación del litio en los sistemas de almacenamiento de energía. Particularmente interesante fue la propuesta de utilizar iones litio como componente de los electrolitos, manteniendo la estequiometría en las baterías secundarias consideradas.

■ Electrodos de Intercalación (o Inserción)

En los inicios se utilizó el litio metal como ánodo de las baterías y los esfuerzos se focalizaron en identificar materiales adecuados que funcionaran como cátodos. Continuando con los estudios de conductividad iónica en sólidos, recibieron especial atención los materiales con elevado potencial de reducción que pudieran acomodar iones de litio con elevada velocidad de transferencia. Ello dio lugar a un amplio abanico de estructuras conteniendo litio y se estudió el comportamiento de materiales que permitieran la inserción de metales alcalinos en condiciones

reductoras. Se puede afirmar que la tecnología de la batería ion-litio comenzó con el descubrimiento de los compuestos de intercalación.

La intercalación consiste en la incorporación reversible de un ion o una molécula en una red cristalina con pequeños cambios en la expansión o contracción de la red (figura 10). Las reacciones de intercalación pueden generar mucha energía y es este el fundamento de su aplicación en los SAEs. Los materiales de intercalación debían de cumplir una serie de requisitos para su utilización en baterías, por lo que su selección constituía un reto importante (Wittingham, 1978, 2012). Así, entre las características requeridas a estos materiales se puede mencionar: 1) Deben poseer estructura de banda electrónica accesible que posibilite elevado y constante cambio de energía libre en la intercalación en todo el intervalo de estequiometría; 2) Ser capaces de acomodar el ion alcalino en un amplio intervalo estequiométrico con mínimo cambio estructural (intercalación topotáctica); 3) Proporcionar elevada difusividad del ion alcalino en la estructura; 4) Permitir que la reacción de intercalación sea reversible; 5) Poseer buena conductividad electrónica; 6) Ser insoluble en el electrolito y no permitir la co-intercalación de los componentes del electrolito; y 7) Ser capaces de funcionar en condiciones próximas a las ambientales.

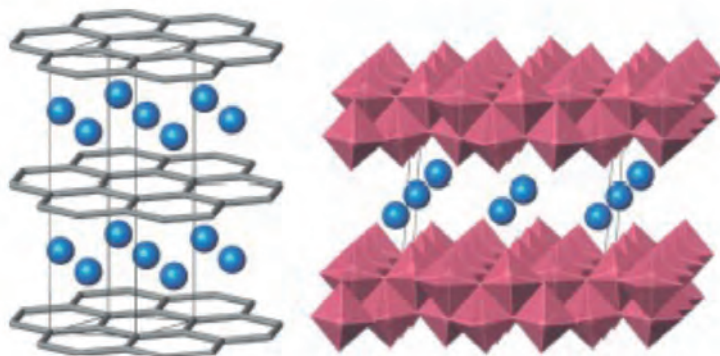


Figura 10. Dos materiales de intercalación; en la izquierda C_6Li y en la derecha $Li_xV_4O_{10}$. Los iones de litio están representados en azul. Cuando los materiales se utilizan en las baterías los iones de litio viajan entre ellos.

Los calcogenuros metálicos, del tipo MX_2 , despertaron gran interés, dado que una gran parte de estos compuestos poseen estructuras en capas con potenciales sitios de unión para el litio. Walter Rüdorff, en 1965, puso de manifiesto la capacidad del disulfuro de titanio, TiS_2 , para albergar iones de litio (Zubi et al,

2018). Es una estructura lamelar con el TiS_2 dispuesto en capas, entre las que los iones de litio se pueden intercalar. Rüdorff demostró la intercalación química tratando los materiales con litio disuelto en amoníaco líquido, dando lugar a la estructura $\text{Li}_{0.6}\text{TiS}_2$. El efecto de la intercalación fue demostrado posteriormente por Jean Rouxel y col, y por M. Stanley Whittingham y Fred Gamble (Whittingham & Gamble, 1975).

Whittingham, procedente de la universidad de Stanford donde había comenzado los estudios de intercalación trabajando con materiales provistos de espacios atómicos en los que se pueden incluir iones metálicos, comenzó, junto a su grupo en la empresa Exxon Research and Engineering, a investigar materiales superconductores, incluyendo disulfuro de tántalo que era capaz de intercalar iones. Al añadir iones al disulfuro de tántalo y evaluar la conductividad resultante, observaron que la conductividad se modificaba y el material presentaba elevada densidad energética. Las interacciones entre los iones potasio y el disulfuro de tántalo se mostraron sorprendentemente ricas desde el punto de vista energético, y al medir el voltaje del material se observó que era de algunos voltios. Este fue el punto de partida que despertó en Whittingham la búsqueda de la nueva tecnología que permitiera almacenar energía y ser utilizada en los vehículos eléctricos. Sin embargo, el tántalo es uno de los elementos más pesados y obliga por ello a construir pesadas baterías. En este punto, el tántalo fue sustituido por titanio, elemento con propiedades similares pero mucho más ligero. Como electrodo negativo de la nueva batería, Whittingham eligió litio; en la batería, los electrones fluyen desde el electrodo negativo (ánodo) al electrodo positivo (cátodo), proceso que debe estar favorecido por un material que tenga gran facilidad para ceder electrones, papel para el que el litio reunía las mejores características. Se comprobó que el litio se puede intercalar en el material Li_xTiS_2 en todo el intervalo estequiométrico ($0 < x$) con un pequeño efecto de expansión reticular. El material era análogo al CdI_2 -NiAs, y los iones de litio ocupaban progresivamente los sitios octaédricos de los espacios interlamelares (huecos de Van der Waals). El resultado mostró la primera batería recargable de litio en 1976 (figura 11).

La celda de la batería estaba compuesta por litio metal como ánodo y TiS_2 como cátodo, con LiPF_6 como electrolito disuelto en carbonato de propileno. Con este dispositivo se registró una fuerza electromotriz de la celda de 2,5 V, con una densidad de corriente inicial de 10 mA/cm² y los resultados apuntaron a la reacción en una fase



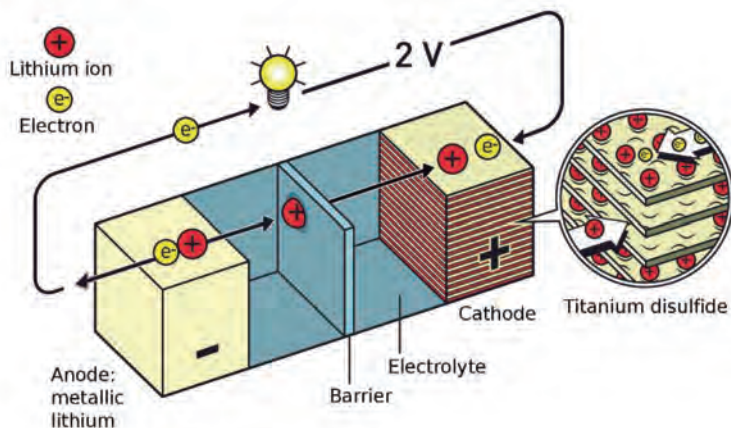


Figura 11. Batería de litio con cátodo de Li_xTiS_2 .

La reacción tenía lugar a partir de la intercalación de los iones de litio en la red de disulfuro de titanio con un coeficiente de difusión estimado de $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$. Además fue posible demostrar el proceso inverso partiendo de un electrodo de LiTiS_2 , poniendo de manifiesto la completa reversibilidad. En otro ejemplo con mayor enfoque aplicado, se mezcló polvo de disulfuro de titanio, TiS_2 , con Teflon y se adhirió a un soporte de acero rodeado de una película de polipropileno y de litio metal. Al ser sumergido en una mezcla de dimetilsiloxano y tetrahidrofurano conteniendo LiClO_4 la celda realizó 1.100 ciclos con una relación carga/descarga baja sin pérdida apreciable del carácter reversible.

Estos resultados constituyeron el punto de partida para el desarrollo de las baterías comerciales y Exxon construyó celdas de hasta 45 Wh (Whittingham, 2012). Estas celdas inicialmente utilizaban ánodos de litio, disulfuro de titanio, TiS_2 , como cátodo y perclorato de litio (LiClO_4) disuelto en dioxolano como electrolito, pero debido a la inestabilidad del perclorato, este fue sustituido posteriormente por borato de tetrametilo, a pesar de que el recubrimiento con litio de este último era peor.

Sin embargo, la adaptación del reactivo litio metal en este dispositivo no fue completa y se formaron dendritas de litio en la superficie del metal en los sucesivos ciclos de carga/descarga (figura 12). La dendrita creció lo suficiente como para penetrar en la capa de separación y alcanzar el electrodo opuesto, dando lugar a la formación de cortocircuitos con peligro de fuego y explosión. Estos problemas no encontraron una solución rápida y ello originó que el desarrollo comercial de la bate-

ría de litio metal se viera frenado. Wittingham dirigió sus esfuerzos hacia una nueva batería en la que incorporaba aluminio al electrodo de litio y cambió el electrolito; esta batería que se desarrolló, en 1976, se empezó a producir en pequeña escala para un relojero suizo con la intención de utilizar la batería para dispositivos que se pudieran cargar con la luz solar. Respecto de la aplicación a gran escala de las baterías para mover vehículos eléctricos la investigación financiada por Exxon se vio frenada a comienzos de los años 80 coincidiendo con la caída del precio del petróleo.

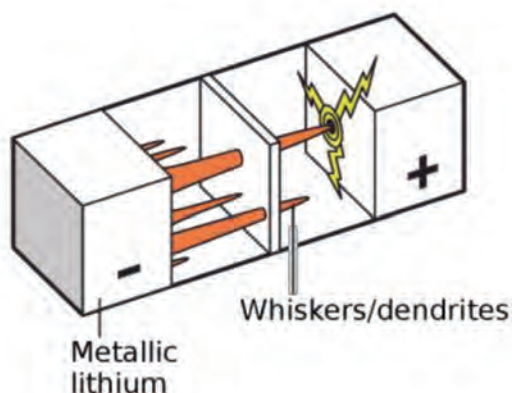
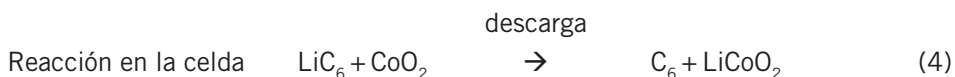
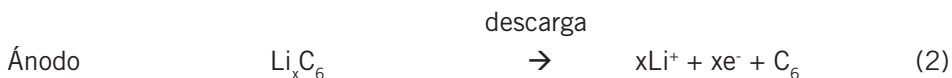


Figura 12. Formación de dendritas en las baterías de litio.

Los resultados obtenidos por la batería de Wittingham y los problemas que se habían derivado tuvieron eco en la comunidad científica. Los científicos enfocaron la investigación hacia la búsqueda de soluciones alternativas, entre las que destaca la configuración de la “celda de transferencia de iones” (conocida como rocking-chair cell o celda mecedora), en la que ambos electrodos pueden acomodar iones. El fundamento de este tipo de celdas había sido demostrado previamente por Rüdorff en 1938, en un sistema en que los iones de hidrógeno sulfato se transportaban electroquímicamente entre 2 electrodos de grafito. En este tipo de celdas se evita el litio metálico y los dos electrodos se configuran a partir de materiales de intercalación que permiten acomodar iones de litio. También era conocido que los iones se podían intercalar en materiales de carbono, tal como grafito, lo que hizo que estos materiales se presentaran como especialmente atractivos. A pesar de que la fuerza electromotriz de la celda y la capacidad de intercalación del electrodo eran menores que las del litio metal, la configuración era considerablemente más segura. La capacidad de estos materiales también era atractiva, dado que tienen la posibilidad de acomodar hasta un ion de litio por cada 6 átomos de carbono.

Sin embargo, la intercalación electroquímica reversible del ion de litio en grafito no era sencilla si no que tenía lugar junto con la co-intercalación de componentes del electrolito que derivaban en la exfoliación y destrucción de los electrodos. Por lo tanto, estos materiales no se podían utilizar directamente en las celdas y continuaba la misión de búsqueda de mejores materiales y mejores electrolitos.

De forma paralela al desarrollo de los ánodos, se investigaron materiales mejorados para su utilización como cátodos para conseguir mayor fuerza electromotriz. En 1979/1980 se produjo un gran avance cuando John B. Goodenough y sus colaboradores en la universidad de Oxford, GB, persiguiendo la idea de que el cátodo puede tener mayor potencial si utiliza un óxido metálico en lugar de un sulfuro; descubrieron que el Li_xCoO_2 , otro calcogenuro metálico intercalado del tipo MX_2 , se podía utilizar como material del cátodo (figura 13) (Mizushima et al, 1980). La estructura del material era análoga al Li_xTiS_2 con huecos de Van der Waals entre las capas de dióxido de cobalto (CoO_2) a las que se podían unir los iones litio sin derivar en una importante expansión reticular. Goodenough dedujo que cuando X en MX_2 es un elemento electronegativo pequeño el proceso de captura de catión resultante tendrá asociado un gran cambio negativo de energía libre y un elevado voltaje de la celda. Si X es oxígeno, la situación es especialmente prometedora, teniendo en cuenta además que los iones de litio son suficientemente móviles en matrices con gran empaquetamiento de oxígeno. Este razonamiento se demostró que era correcto y el material de óxido de cobalto, CoO_2 , mostró un elevado potencial en torno a 4-5 V relativo al Li^+/Li y una constante de difusión para los iones de litio de aproximadamente $5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ a temperatura ambiente. Los experimentos electroquímicos se realizaron con un electrolito que estaba compuesto por LiBF_4 en carbonato de propileno utilizando litio metal o $\text{Li}_{0.1}\text{V}_2\text{O}_5$ como contra-electrodo de referencia. El almacenamiento de energía tiene lugar a través de las siguientes reacciones:



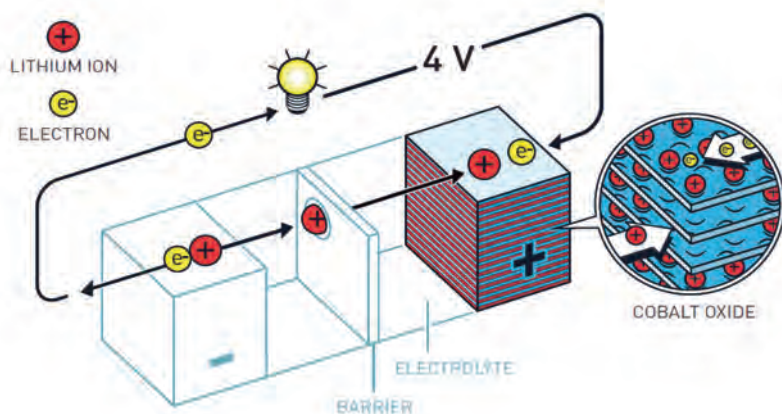


Figura 13. Batería de litio con Li_xCoO_2 como cátodo.

Una de las claves del éxito derivado del descubrimiento de John Goodenough consistió en proponer que las baterías no tienen por qué construirse en el modo de carga, si no que pueden cargarse con posterioridad. El descubrimiento de este cátodo de alta densidad energética se publicó en 1980 y gracias a su pequeño peso permitió la construcción de baterías de gran capacidad dando un gran paso en el expansivo desarrollo de los sistemas inalámbricos (Goodenough et al, 1982).

■ Materiales carbonosos como ánodos-baterías de transferencia de iones

La nueva configuración de la batería propuesta por Goodenough y su grupo mantenía el inconveniente de trabajar con litio metal en el ánodo con los problemas de falta de seguridad asociados, situación que junto a la caída de los precios del petróleo condujo a una desaceleración en la inversión en tecnologías de almacenamiento de energía y freno en el desarrollo de los vehículos eléctricos. Sin embargo, la situación tuvo una evolución diferente en Japón. Las empresas del sector de electrónica perseguían el desarrollo de baterías recargables ligeras que se pudieran utilizar en los nuevos dispositivos tales como videocámaras, teléfonos inalámbricos y ordenadores. En este escenario destaca el trabajo de Akira Yoshino en Asahi Kasei Corporation. La investigación se centró en identificar materiales carbonosos con mayor potencial que el litio metal para ser utilizados en el ánodo.

Teniendo en cuenta la dificultad del grafito para la intercalación electroquímica se consideraron distintas opciones. En 1985 se produjo un nuevo descubrimiento cuando el grupo dirigido por Akira Yoshino en la empresa de Japón, Asahi Kasei Corporation, identificó que determinadas propiedades del coque de petróleo eran estables bajo las condiciones electroquímicas requeridas (Yoshino et al, 1987). Yoshino había realizado experimentos utilizando el polímero conductor poli-acetileno, recientemente descubierto, como ánodo, pero cambió este material por fibras de carbono crecidas en fase vapor (VGCF) y finalmente trabajó con coque de petróleo tratado térmicamente. Este último material era conocido que contenía una mezcla de dominios cristalinos (grafíticos) y no cristalinos, y pudieron asociar propiedades de estabilidad y elevado rendimiento con diferentes grados de cristalinidad. Las regiones circundantes se suponía que protegían los dominios cristalinos de la exfoliación y los iones litio se podían intercalar de forma eficiente y repetitiva en estos materiales. Además, los materiales mostraban un potencial suficientemente bajo relativo al Li^+/Li (aprox. $-0,5\text{V}$), a la vez que eran capaces de acomodar un elevado número de iones litio.

Con estos materiales anódicos, Yoshino desarrolló una configuración de celda de ion litio eficiente basada en la transferencia de iones (figura 14). El material carbonoso previamente identificado se utilizó como ánodo y el material Li_xCoO_2 descubierto por Goodenough (conteniendo pequeñas cantidades de estaño) se utilizó como cátodo. El dispositivo contenía capas separadoras de polietileno o polipropileno y el electrolito estaba constituido por LiClO_4 disuelto en carbonato de propileno. Otra gran ventaja es que la batería no contiene litio puro. En 1986, para realizar las pruebas de seguridad, Yoshino conformó una unidad de prueba mediante la cual tras dejar caer una pieza de hierro sobre la batería de forma remota no se observó ninguna alteración; sin embargo, al repetir el experimento con una batería que contenía litio puro tuvo lugar una explosión. De esta manera se podía comprobar si las nuevas baterías eran dañadas sin provocar fuego o explosiones, mientras que las baterías de litio metal reaccionaban de forma más violenta (Yoshino, 2012). Superar el test de seguridad era imprescindible para el futuro de las baterías.

Estos descubrimientos y desarrollos dieron lugar, finalmente, a la comercialización de la batería de litio en 1991 por parte de la empresa Sony que comenzó a vender baterías de iones de litio de forma masiva. En 1992, las baterías de ion litio fueron comercializadas también por A&T Battery (figura 15).

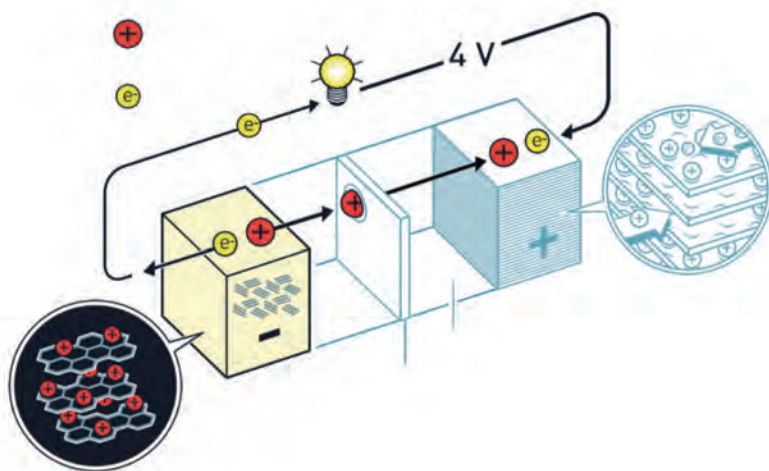


Figura 14. Configuración de la batería de ion-litio basada en la celda de transferencia de iones.



Figura 15. Línea de montaje de la batería de ion litio.

La batería contenía un ánodo de coque de petróleo, Li_xCoO_2 como cátodo y un electrolito libre de agua compuesto por LiPF_6 en carbonato de propileno. El voltaje de carga era alto (hasta 4,1 V) con una densidad energética de aproximadamente 80 Wh/kg o 200 Wh/L. En comparación con otras baterías que se encontraban en el mercado en ese momento, tabla 1 (Yang et al, 2011), la batería de litio ense-

guida se mostró altamente competitiva y abrió el camino a los grandes avances en el desarrollo de los dispositivos portátiles, que ha supuesto reducir el tamaño de los teléfonos móviles, el desarrollo de los ordenadores portátiles, los equipos MP3, las tabletas etc.

Tabla 1. Características comparativas de varias baterías comerciales.

Batería	Voltaje Circuito Abierto, V	Energía Específica Wh/kg	Temperatura °C	Duración descarga	Auto- Descarga %/mes	Nº de ciclos	Eficiencia Del ciclo (%)
LAB	2,1	25-40	-40-60	Hasta 8 h	4-50	1.000	50-75
NCB	1,35	35-40	-10-45	Hasta 4 h	5-20	2.000	55-70
VRB	1,4	10-20	10-40	4-12 h	3-9	5.000	65-80
LCB	2,1	25-40	-40-60	Hasta 4 h		3.000	
Na-S	2,1	150-240	300-350	4-8 h	Desprec.	4.000	75-90
C-LC	3-4	155	-25-40	Hasta 4 h	2	1.000	94-99
LT-LFP	1,7	50-70	-25-40	Hasta 4 h	2	4.000	94-99

LAB: baterías plomo-ácido; NCB: baterías níquel-cadmio; VRB: baterías de flujo de vanadio; LCB: ultrabaterías plomo-carbono; Na-S: Baterías sodio-azufre; C-LC: batería de ion litio con ánodo de carbono y cátodo LiCoO_2 ; LT-LFP: batería ion litio con ánodo $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ y cátodo LiFePO_4 .

Hacer frente a larga vida operativa de los aparatos electrónicos portátiles y aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos requiere mejoras en las actuales baterías de ion litio con especial énfasis en la mejora de la densidad energética. En la actualidad, el grafito continúa siendo el material más prometedor en su uso como ánodo con una gran capacidad para la intercalación/des-intercalación de iones litio y bajo potencial respecto del Li^+/Li . La gran capacidad de los actuales ánodos de grafito (capacidad teórica de 372 mAhg^{-1}) contrasta con la relativa baja capacidad de los actuales cátodos (en general $< 200 \text{ mAhg}^{-1}$), por lo que la búsqueda de nuevos materiales catódicos constituye uno de los principales retos en el diseño y construcción de baterías de ion litio con mayor eficiencia en las que se mejore además la capacidad y el número de ciclos de uso.

El LiCoO_2 estructurado en capas se ha utilizado como material catódico en dispositivos electrónicos portátiles desde la primera demostración en 1980; sin embar-

go, la densidad energética de los cátodos de LiCoO_2 es demasiado baja (hasta 160 mAhg⁻¹) para otras aplicaciones como vehículos eléctricos o almacenamiento de energía para aplicaciones estacionarias; el desarrollo de nuevos materiales catódicos con mayor capacidad o mayor voltaje se ha convertido en uno de los principales retos (House et al, 2020). Desde el LiCoO_2 se han considerado otros materiales catódicos tales como la espinela $\text{Li}_{1-x}\text{M}_2\text{O}_4$ (M=Ni, Mn etc) (Thackeray et al, 1983) u óxidos polianiónicos como la olivina Li_xFePO_4 (LFP) (Padhi et al, 1997) material que está limitado por su relativo menor potencial relativo al Li^+/Li que el Li_xCoO_2 , pero tiene mayor estabilidad a elevadas velocidades de carga. En general, se han conseguido nuevos materiales catódicos que bien aportan mayor voltaje o mayor capacidad en la descarga además de tener la ventaja de ser más baratos que el LiCoO_2 al reducir o incluso eliminar el contenido en cobalto (Chen et al, 2020).

■ Perspectivas futuras

Actualmente, los sistemas de almacenamiento de energía son imprescindibles. Su papel es determinante en tres aplicaciones: 1) Para aumentar la eficiencia de la creciente penetración de energía a partir de fuentes renovables, tanto para la mejora en la seguridad energética como para la calidad del suministro en relación con los sistemas de distribución; 2) Para hacer frente al explosivo crecimiento en el uso de sistemas portátiles; y 3) Para satisfacer las necesidades derivadas de la sustitución de los combustibles fósiles en el transporte.

En la tabla 2 se muestran datos recientes del mercado de baterías de ion litio junto a las perspectivas de necesidad energética de diferentes sectores hasta 2030, (Zubi et al 2018). Con el nivel de desarrollo actual, la necesidad energética mundial se duplica aproximadamente cada 5 años, lo que se convierte en una gran oportunidad para el futuro desarrollo de las baterías de ion litio (Avicenne Energy, 2017).

Hacer frente a larga vida operativa de los aparatos electrónicos portátiles y aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos requiere mejoras en las actuales baterías de ion litio con especial énfasis en la mejora de la densidad energética. Uno de los avances más recientes se refiere a las baterías de estado sólido, en las que la industria tiene depositadas grandes esperanzas dado que anuncian el triple de capacidad, carga ultrarrápida y ciclos de vida útiles prácticamente ilimitados. En este campo no son ajenos los esfuerzos del grupo del prof. Goodenough, que en un artículo publicado en 2018 (Braga et al, 2018), presentaban baterías de estado

Tabla 2. Mercado de las baterías de ion litio en GWh/año.

	2010	2015	2020	2025	2030
Teléfonos móviles	6	11	17	28	44
Tabletas	1	7	12	17	25
PC	12	9	9	9	11
Otros dispositivos electrónicos	3	4	7	12	20
Total dispositivos electrónicos	21	31	45	66	100
Vehículos eléctricos	0	11	65	115	200
Coches híbridos con enchufe	0	2	8	13	25
Coches híbridos	0	0	2	7	15
Transporte carretera, otros	0	0	1	2	5
Total transporte carretera	0	13	76	137	245
Almacenamiento para suministro	0	0	2	10	30
Otras aplicaciones	1	1	2	7	15
TOTAL	22	45	125	220	390

sólido cuya capacidad energética aumentaba con el uso. El trabajo, publicado en la revista de la American Chemical Society, suponía, para el caso del vehículo eléctrico, que los kilómetros de autonomía se incrementarían a medida que pasaran los años. Sobre el papel, el descubrimiento permitiría que un coche con 300 kilómetros de autonomía eléctrica pasara a disponer, cinco años después, de 1.000 kilómetros por recarga, algo que se acerca mucho a la panacea, al menos para el consumidor.

A nivel global es esperable que los continuos esfuerzos de investigación y la adaptación de políticas y estrategias socioeconómicas relacionadas con las baterías de ion litio tengan una importante contribución en el aumento de la sostenibilidad del panorama energético mundial; algunos de los factores clave en este

panorama son: 1) La necesidad de reducción de la huella de carbono del sector energético; 2) Construir sistemas de recogida y reciclado de las baterías de ion litio eficaces; 3) Minimizar la dependencia en el cobalto; 4) Disminución de los costes de las baterías; 5) Desarrollar nuevos conceptos tales como V2G y baterías de segunda mano; y 6) Incentivar el mercado.

En la actualidad, el mercado de las baterías eléctricas está dominado por Asia: Japón, (con empresas como Panasonic, Sony, GS Yuasa y Hitachi), China (BYD Company, ATL y Lishen) y Corea del Sur (LG Chem, Samsung, Kokam y SK Innivation) y Estados Unidos, (Tesla, Johnson Controls, A123 Systems, EnerDel y Valence Technology), lo que crea una situación de dependencia de la Unión Europea y del resto del mundo. En un horizonte en que las baterías ocupan un papel más relevante en la vida cotidiana, la Unión Europea ha comenzado a tomar cartas en el asunto y ya ha aprobado el primer gran proyecto para que un conjunto de 6 países con 17 empresas inviertan 3.200 millones de euros en la fabricación de baterías.

■ Biografías abreviadas

Michael Stanley Whittingham



Michael S. Whittingham (22/12/1941), químico americano nacido en Gran Bretaña, comenzó sus estudios en la Escuela de Stamford, en Lincolnshire, entre 1951 y 1960. Posteriormente ingresó en el New College, en Oxford, donde realizó los estudios de Química (1964), Máster (1967) y doctorado (1968). Desde 1968 a 1972 realizó investigación postdoctoral en la Universidad de Stanford (EE.UU.), periodo tras el que se incorporó a la empresa Exxon Research & Engineering Company en Linden, Nueva Jersey (EE.UU.), donde permaneció hasta 1984.

Whittingham está reconocido como un referente en la historia del desarrollo de las baterías de iones de litio. En la década de 1970 se demostró, por primera vez, la capacidad para almacenar energía de las reacciones reversibles de intercalación, lo que dio paso al desarrollo de las baterías de ion litio. Whittingham creó la primera batería de ion litio en 1976 utilizando un ánodo de litio metal y disulfuro

de titanio con capacidad de intercalar iones litio como cátodo; la batería poseía una fuerza electromotriz de 2,5 V.

En 1984, Whittingham se convirtió en el director de Física en Schlumberger-Doll Research, Ridgefield, Conética (EE.UU.), empresa dedicada al desarrollo de tecnología para la industria del petróleo.

En 1988 se incorporó como profesor de Química y Ciencia e Ingeniería de Materiales en la Universidad de Binghamton (Nueva York, EE.UU.). En esta universidad fue vicerrector durante cinco años y vicepresidente de la Fundación de Investigación de la Universidad Estatal de Nueva York durante seis años. Whittingham copresidió el estudio del departamento de energía de Estados Unidos, DOE, sobre el almacenamiento de energía química en 2007 y fue nombrado director del Centro para el Almacenamiento de Energía Química en el Nordeste (NECCES). Entre otros galardones ha recibido el Premio Joven Autor de la Sociedad Electroquímica en 1971, Thomson Reuters Citation Laureate 2015, ISSI Senior Scientist Award 2017, Miembro de la Academia Nacional de Ingeniería (EE.UU.) 2018, Turnbull Award, Materials Research Society, 2018.

John Bannister Goodenough



John Bannister Goodenough (25/07/1922), es un físico estadounidense nacido en Jena, Alemania, en 1922. Se graduó en matemáticas en la universidad de Yale (1943) mientras ejercía de meteorólogo en el ejército del aire de los Estados Unidos. Al finalizar la Segunda Guerra Mundial cursó los estudios de Física en la universidad de Chicago, donde realizó también el Máster (1951) y doctorado (1952).

En 1952 se incorporó como científico al laboratorio Lincoln del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Uno de sus primeros proyectos consistió en el desarrollo de los núcleos de memoria de la computadora de defensa aérea SAGE, que dio lugar a la primera memoria RAM. En 1976, Goodenough se incorporó como profesor a la universidad de Oxford y fue el director del Laboratorio de Química Inorgánica.

En el mismo año, coincidió el desarrollo por parte del grupo de M. Stanley Whittingham de la primera batería de ion litio que utilizaba litio metal como ánodo y disulfuro de titanio entre cuyas capas albergaba iones de litio como cátodo; Goodenough pensó que se podría conseguir mayor potencial en la celda utilizando un óxido metálico en el cátodo en lugar del sulfuro; con esta premisa Goodenough y sus colaboradores desarrollaron, en 1979, una batería cuyo cátodo albergaba iones litio entre las capas de óxido de cobalto. Esta batería tenía un potencial de 4 V, prácticamente duplicando el potencial de la batería de sulfuro. Este hallazgo señala el inicio de las baterías de ion-litio tal como las conocemos hoy en día.

En 1986, Goodenough, se incorporó como profesor a los departamentos de ingeniería mecánica y eléctrica e ingeniería de telecomunicaciones de la universidad de Texas en Austin, Estados Unidos.

A lo largo de su carrera ha recibido varios galardones como la Medalla Nacional de Ciencias (EE.UU., 2011), el premio Charles Stark Draper (2014) y la medalla Copley (2019).

Entre sus monografías destacan *Magnetism and the Chemical Bond* (1963), *Solid Oxide Fuel Cell Technology: Principles, Performance and Operations* (2009, con Kevin Huang), y la autobiografía, *Witness to Grace* (2008).

Akira Yoshino



Akira Yoshino (30/01/1948) nació en Suita, Japón. Se graduó en Química en la Universidad de Kyoto en 1970 y recibió el máster en 1972. Realizó un doctorado en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de Osaka.

En 1972 se incorporó a la empresa Asahi Chemical (en la actualidad Asahi Kasei Corporation). En 1981 comenzó a desarrollar baterías recargables, inicialmente basadas en óxido de litio cobalto (III) (acumulador de dióxido de litio-cobalto), basadas en el descubrimiento de **John B. Goodenough**. En 1983, Yoshino presentó una solicitud de patente para la batería de iones de litio tal como se conoce hoy, tomando el concepto original y modificándolo para aumentar la seguridad y eficiencia. Reemplazó el inestable metal de litio por distintos materiales para seleccionar finalmente un material

carbonoso tratado térmicamente. Cambió el material del cátodo de la batería por óxido de litio y cobalto, una aleación más estable que acababa de ser descubierta. También introdujo una membrana sensible al calor basada en polietileno entre las capas reactivas. Cuando la batería se sobrecalienta, la membrana se derrite y actúa como un fusible para evitar que toda la estructura se incendie. Este fue el primer diseño de batería de iones de litio que llegó a los estantes y a la electrónica de consumo. Posteriormente reemplazó el poliacetileno con compuestos de carbono (patentado en 1985). Akira Yoshino convirtió el invento de Goodenough en un producto comercialmente viable en 1985: una batería ligera y resistente que podía cargarse cientos de veces antes de que su rendimiento mermara. Es en 1991 cuando Sony comienza a vender baterías de iones de litio de forma masiva. Desde 1994 hasta 1997 trabajó para A & T Battery, empresa asociada a Asahi Kasei y Toshiba. En 1997 regresó a Asahi Kasei, empresa de la que sigue siendo miembro honorífico. Ha sido Gerente General del Laboratorio Yoshino y Presidente del Centro de Tecnología y Evaluación de Baterías de Iones de Litio (LIBTEC). Desde 2017, Yoshino es catedrático en la Universidad de Meijo. Es miembro de la Sociedad Química de Japón; Premio Charles Stark Draper 2014; Premio Japón 2018.

■ Bibliografía

Avicenne Energy 2017-2030 Report. Worldwide Rechargeable Battery Market, December 2018, 27th edition. www.avicenne.com.

Braga, M.H.; Subramaniam, Ch.M.; Murchison, A.J.; Goodenough, J.B. Nontraditional, Safe. High Voltage Rechargeable Cells of Long Cycle Life J. Am. Chem. Soc. 140, 20, 2018.

Chen, Zh., Zhang, W., Yang, Z. "A review on cathode materials for advanced lithium ion batteries: microstructure designs and performance regulations, Nanotechnol. 31, 1-35, 2020.

Goodenough, J.B.; Mizushima, K. Fast Ion Conductors US patent nº 4357215, 1982.

House, R.A. et al. "Superstructure control of first-cycle voltage hysteresis in O-redox cathodes", Nature, 2020, doi: 10.1038/s41586-019-1854-3.

Mantell, C.L. Electrochemical Engineering, 4th edition; McGraw-Hill Book Company, Inc. Nueva York, Estados Unidos, 1980.

Mizushima, K.; Jones, P.C.; Wiseman, P.J.; Goodenough, J.B.; Li_xCoO_2 ($0 < x < 1$): A New Cathode Material for Batteries of High Energy Density. *Mater. Res. Bull.* 1980, 15 (6), 783-789.

Montiel, V. Electroquímica y Acumulación de Energía, conferencia impartida en la Universidad de Cantabria el 15/02/2019.

Padhi, Nanjuundaswamy, Goodenough. Phospho-Olivines as Positive Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries, *J. of the Electrochemistry Society*, 144, 1188, 1997.

Ruiz-Vanoye, J.A.; Díaz-Parra, O. 3 de junio de 2013. Bioinnovación. ISBN 9786079618209.

Thackeray, David, Bruce, Goodenough. Lithium Insertion into Manganese Spinel, *Materials Research Bulletin* 18, 461, 1983.

Whittingham, M.S. Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry. *Science* 192 1126-1127, 1976.

Whittingham, M.S. History, Evolution and Future Status of Energy Storage. *Proc. IEEE* 100, 1518-1534, 2012.

World Energy Outlook 2019. International Energy Agency; <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

Z. Yang, J. Zhang, M.C.W. Kintner-Meyer, X. Lu, D. Choi, J.P. Lemmon, J. Liu. "Electrochemical energy storage for Green grid, *Chemical Reviews*, 111, 3577-3613, 2011.

Yoshino, A.; Sanekikawa, K.; Nakajima, T. Secondary Battery. US patent nº 4668595, May 26, 1987.

Yoshino, A. The Birth of the Lithium-Ion Battery. *Angew. Chem. Int. Ed.* 51, 5798-5800, 2012.

Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., Pasaoglu, G. Zubi, G. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89, 292-308, 2018.

Premio Nobel de Literatura 2018

OLGA TOKARCZUK, UNA VISIÓN SOCIALMENTE COMPROMETIDA DEL REALISMO MÁGICO



En el anverso de la medalla se muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y muerte OB MDCCCXCVI. 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 iuvat excoluisse per arte*, las palabras han sido tomadas de la *Eneida* de Virgilio. 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.

Antonio González Bueno

■ Datos para una biografía

Olga-Nawoja Tokarczuk nació en Sulechów (Polonia), al norte de la Baja Silesia, apenas iniciado el año 1962, un 29 de enero; es la primogénita de un par de hermanas; sus padres eran educadores en una escuela popular, integrada en un movimiento dedicado a promocionar la educación entre las clases campesinas. La familia vivía en los terrenos de la escuela, donde su padre era el bibliotecario. Ella lo recuerda como un periodo feliz en el que las lecturas de Apuleyo se alternaban con las de Julio Verne:

“Mis padres no eran del todo una tribu sedentaria. Se mudaron muchas veces de un lugar a otro hasta que finalmente se asentaron un tiempo en una escuela de provincias, lejos de cualquier estación de tren y de toda carretera merecedora de tal nombre. El mero hecho de cruzar la linde para ir a la pequeña ciudad comarcal se convertía en todo un viaje (...) Pertenecían a esa generación que viajaba con remolques de acampada que arrastraban tras de sí un remedo de casa. Un hornillo, mesas y sillas plegables. Una cuerda de plástico para tender la ropa durante las paradas y pinzas de madera. Hules para la mesa, impermeables. Un kit de picnic: platos de plástico de colorines, cubiertos, saleros y vasos...” (Tokarczuk, 2007).

La adolescencia le hizo ver el mundo con otra mirada: “Todo lo que era interesante estaba fuera de Polonia (...) Buena música, arte, cine, hippies, Mick Jagger. Era imposible incluso soñar con escapar. Como adolescente, estaba convencida de que tendría que pasar el resto de mi vida en esta trampa” (Franklin, 2019).

En el otoño de 1980 se trasladó a Varsovia para iniciar su formación universitaria en Psicología; desde sus inicios se interesó por la atención a los enfermos mentales, con los que trabajó –como voluntaria– durante su periodo universitario. Sus ideas sobre psicología se encuentran en la esfera de las defendidas por Carl Gustav Jung (1875-1961).

El campus había sido un cuartel alemán durante la guerra, su dormitorio estaba cerca de las ruinas del gueto judío y todavía había huecos en las calles por la destrucción sistemática de la ciudad por los nazis, en 1944.

“Estudié psicología en una sombría gran ciudad comunista, mi facultad ocupaba el edificio que durante la guerra albergó la sede de un destacamento de las SS. Esta parte de la ciudad se construyó sobre las ruinas del gueto, era fácil verlo si se miraba con atención: todo el barrio se elevaba un metro por encima de la ciudad. Un metro de escombros. Nunca me sentí a gusto allí; entre los bloques de pisos nuevos y las plazuelas de tres al cuarto siempre soplaba el viento y el aire frío parecía particularmente helado; pellizcaba la cara. En el fondo, pese a las nuevas edificaciones, el lugar seguía perteneciendo a los muertos. El edificio de la facultad se me sigue apareciendo en sueños: sus anchos pasillos, como tallados en piedra y bruñidos por un sinfín de pies, los

bordes de los peldaños gastados, los pasamanos pulidos por un sinfín de manos, huellas grabadas en el espacio. Tal vez por eso se nos aparecían fantasmas...” (Tokarczuk, 2007).

En 1985, tras graduarse en Psicología, contrajo matrimonio con Roman Fingas, un compañero de estudios; trabajó como psicoterapeuta en una clínica de salud mental de Walbrzych, no muy lejos de Breslavia.

“He hecho una carrera universitaria, pero en realidad no he aprendido ningún oficio, cosa que lamento mucho; mi bisabuelo era tejedor, blanqueaba las telas ya tejidas extendiéndolas sobre la ladera del monte para que les diesen los ardientes rayos del sol. Me gustaría mucho entrelazar urdimbres y tramas (...) Cuando viajo hago punto. Lamentablemente en los últimos tiempos las líneas aéreas prohíben subir a bordo agujas y ganchillos. Lo dicho: no he aprendido ningún oficio y sin embargo, pese a lo que siempre repetían mis padres, he conseguido sobrevivir a los muchos trabajos que he desempeñado por el camino sin nunca tocar fondo...” (Tokarczuk, 2007).

No sin dificultades, consiguió viajar a Londres donde, durante unos meses, estudio inglés, realizó los más diversos trabajos ocasionales y, sobre todo, deambuló por librerías aprendiendo teoría feminista, algo que no había podido conocer en Polonia.

Tras regresar a su tierra natal su vida conoció un cambio esencial; no solo por el nacimiento de su hijo, sino porque decidió dedicar su tiempo a la escritura:

“No tardé en dar por terminado el ejercicio de mi profesión. En el curso de uno de mis viajes, cuando me quedé sin dinero en una gran ciudad en la que trabajaba como ‘kelly’ me puse a escribir un libro. Era un libro de viaje, para ser leído en un tren, como si lo escribiera solo para mí. Un libro-canapé, para engullir de un bocado, sin masticar.

Supe concentrarme como era menester, fui por un tiempo una desconocida oreja dedicada a escuchar susurros, ecos y rumores, voces lejanas que atravesaban las paredes.

Pero nunca llegué a ser una auténtica escritora o, mejor dicho, escritor, puesto que en masculino la palabra suena más seria. Solo daba con sus huellas, pálidos vestigios. Cuando alcanzaba a detectarla, ya estaba en otra parte...” (Tokarczuk, 2007).

Y encontró un espacio ideal para desarrollar su actividad literaria: el valle de Kłodzko, en la Baja Silesia, junto a la frontera checa; allí, en Nowa Ruda, una localidad cercana a Krajanów, donde actualmente reside, encontró un paisaje y una cultura que se hacen presentes en sus escritos.

Su obra comenzó a ser reconocida en los inicios de la década de 1990: en 1993 le fue concedido el premio de la Asociación Polaca de Editores de Libros y, en 1997, el premio literario de la Fundación ‘Ko cielski’. Para entonces, su vida sentimental había encontrado nuevos derroteros, tras separarse de Roman Fingas conoció a Grzegorz Zygań, un traductor de alemán con quien actualmente comparte su existencia.



Olga Tokarczuk en una manifestación por la igualdad de género en Wrocław, Polonia, octubre de 2019. Fotografía Agencia Gazeta.

Compagina su actividad narrativa con la impartición de talleres de prosa en la licenciatura en Artes Literarias de la Universidad Jagellónica de Cracovia; desde 2008 imparte clases de escritura creativa en la Universidad de Opole y colabora en la organización del festival de relatos Opowiadania. Ideológicamente comprometida con los problemas medioambientales; desde 2004 es miembro del partido ‘Los Verdes’.

“No soy grande, tengo un tamaño cómodo y estoy bastante bien hecha. Tengo un estómago pequeño, nada exigente, unos pulmones robustos, una barriga firme y unos brazos fuertemente musculados. No tomo

medicinas ni hormonas, no llevo gafas. Me corto el pelo con una maquinilla, una vez cada tres meses, casi no uso cosméticos. Tengo los dientes sanos, tal vez no del todo bien alineados, pero enteros, con un solo empaste ya antiguo, creo que en el primer molar inferior izquierdo. El hígado, normal. El páncreas, normal. La vejiga correcta. Hemoglobina: 12,7. Leucocitos: 4,5. Hematocrito: 41,6. Plaquetas: 228. Colesterol: 204. Creatinina: 1,0. Bilirrubina: 4,2. Etcétera. Mi CI –si alguien cree en esas cosas–: 121; suficiente. Tengo muy desarrollada la imaginación espacial, casi eidética, mas no así la lateralidad, que flojea. El perfil de mi personalidad es cambiante, más bien poco digno de confianza. La edad: psicológica. El sexo: gramatical. Compró libros preferentemente de tapa blanda para así poder dejarlos sin sentir pena en los andenes, para otros ojos. No colecciono nada...” (Tokarczuk, 2007).



Olga Tokarczuk. Fotografía de Jacek Kolodziejski, 2019.

En 2008 se hizo merecedora del premio del jurado en el certamen *Paszport Polityki*; y, en octubre de ese año, obtuvo su primer premio ‘Nike’ por *Los errantes* (2007); en 2013 recibió el premio ‘Vilenica’, otorgado a escritores de Europa Central; un par de años después, en 2015, su segundo premio ‘Nike’ por la novela *Los libros de Jacob* (2015); en 2018 se convirtió en la primera escritora polaca en recibir el premio ‘Man Booker International’ por su novela *Los errantes*, traducida al castellano por Agata Orzeszek. En 2019 la Academia Sueca anunciaba su nombre como ganadora del Premio Nobel de Literatura de 2018 “por una imaginación narrativa que con pasión enciclopédica representa el cruce de fronteras como una forma de vida” (The Nobel Committee for Literature, 2019).



Olga Tokarczuk con la portada del periódico polaco *Gaze wyborcza* del viernes 11 de octubre de 2019. Fotografía de Martin Meissner (AP).

■ La obra narrativa de Olga Tokarczuk

Los textos de Olga Tokarczuk deben mucho a los escritos del psiquiatra y ensayista Carl Gustav Jung (1875-1961) y a los mundos fantásticos de Antón Chéjov (1860-1904), Thomas Mann (1875-1955), Nikolái Gógol (1809-1852) y Edgar Allan Poe (1909-1949). Abel Murcia, uno de sus traductores a nuestra lengua, ha descrito sus características literarias en los siguientes términos:

“... el cuidado del lenguaje, el intento de forzar los límites de la propia lengua, la construcción de mundos entre realidad y ficción –que permitirán verla como representante de lo que podríamos denominar un ‘realismo mágico’ centroeuropeo, eslavo– y que se irán conformando a partir de formas menores entrelazadas, entretejidas, y reunidas y agrupadas en un todo mayor, que será siempre el libro final que llegue al lector...” (Murcia, 2009).

El crítico colombiano Arturo Hernández González, tras señalar la escasa presencia de sus textos en lengua castellana, y la influencia de Edgar Allan Poe y, aún en mayor medida la de Kafka, en lo que al relato se refiere, alude a:

“La prudencia de su voz narrativa aúna la cotidianidad con la más lucida cadencia del absurdo. Su versatilidad ampara el tiempo pasado

y el porvenir incierto en una sola y fermentada simultaneidad que bien podría confundirse con nuestra realidad líquida (...).

Si bien la familiaridad entre ética y estética ha sido señalada por muchos autores (...), solo Tokarczuk ha sabido irrumpir con una escritura pugilística en la experiencia ética a través de dilemas sencillos (pero no simples) que olvidan a propósito la parábola y la moraleja, para confiar al lector la inmensa responsabilidad de reflexionar a solas sobre su ser ante el mundo (...)

Exacta en sus deliberaciones, Tokarczuk aprehende registros inherentes a la intransigencia humana (...), para alertarnos sobre la realidad del cambio climático con manifiesta cercanía. Y del mismo modo, señala compasivamente la fragilidad de la 'lengua universal', ese imperio de vulnerable soberbia; la franqueable globalización de su belleza..." (Hernández, 2019).

Sus primigenios escauceos literarios ven la luz en una revista juvenil, *Na przełaj*, corría el año 1979 y lo hizo bajo el seudónimo de Natasza Borodin (Manrique, 2019). Su debut como novelista llegó en 1993, con *El viaje de los hombres del Libro*; un par de años después, en 1995, salió de prensas su segunda novela, *E. E.*

La primera de sus obras traducida al castellano será su novela *En un lugar llamado Antaño*, editada en lengua polaca en 1996 y disponible en nuestro idioma desde 2001, gracias al trabajo de Ester Rabasco Macías y Bogumila Wyrzykowska, y al buen entender de la editorial barcelonesa Lumen (Tokarczuk, 1996). De 1998 data una colección de relatos breves, publicados bajo el título de *El ropero* y la novela *Casa diurna, casa nocturna*.

Los comienzos del siglo XXI se inician con *La muñeca y la perla*, un remedo de *La Muñeca*, debida a Aleksander Głowacki (alias Bolesław Prus) (1847-1912), publicada por entregas, en 1890, en el diario *Kurier Codzienny*, impreso en Varsovia, y considerada como una de sus mejores obras. Ese mismo año de 2000 publica algunos textos breves en *Relatos navideños*, elaborado junto a Jerzy Pilch y Andrzej Stasiuk.

Siguieron a estas una colección de diecinueve historias incluidas en *Concierto de varios tambores*, impresas en 2001; la novela histórica *Historias últimas* (2004) y *Anna Inn en los sepulcros del mundo* (2006), donde se hacen presentes



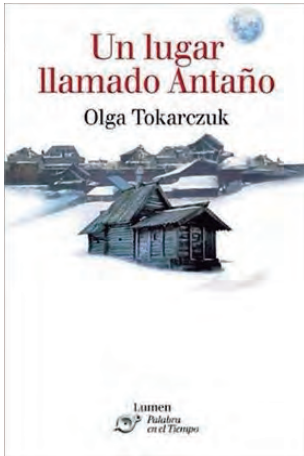
Olga Tokarczuk. *ABC*, 13/11/2019.

sus ideas más feministas. Tras un largo trienio de trabajo vio la luz *Los errantes* (2007), una reflexión sobre el sentido del viaje, galardonada con el premio ‘Man Booker International’, de la que tenemos un texto castellano gracias al trabajo de Agata Orzeszek para la editorial Anagrama.

Luego vieron la luz *El momento del oso* (2012), una colección de ensayos precedidos de un prólogo de Kinga Dunin y, un par de años después, en 2014, *Los libros de Jacob* (2014), uno de sus textos más ambiciosos y reconocidos.

La tercera de las obras de la que disponemos de una versión castellana es *Sobre los huesos de los muertos*, publicada en 2009 y –quizás– su obra más polémica; plena de referencias al poeta británico William Blake (1757-1827), la obra rezuma una fuerte carga de radicalismo ecologista y presenta, de una forma dramática, la irresponsabilidad humana frente a la Naturaleza (Ahsan, 2019). La versión española llegó, inicialmente, del trabajo de Abel Murcia para la editorial mexicana Océano (Tokarczuk, 2009), luego, en 2016, impreso en Madrid por la editorial Siruela. Esta obra fue adaptada al cine, en 2017, por Agnieszka Holland y Katarzyna Adamik, con el título *El rastro* [*Pokoł*], de la que Festival Films produjo, en 2018, una versión con subtítulos en castellano; el trabajo de su director, Agnieszka Holland, fue premiado en el Festival de Berlín con el ‘Alfred Bauer’ y consiguió una mención especial de la *National Society of Film Critics Awards*; el vestuario mereció el premio del Cine Europeo al Mejor Diseño; la película fue premio ‘Cheval Noir’, en el Festival Fantasía; ganó un par de premios en el Festival

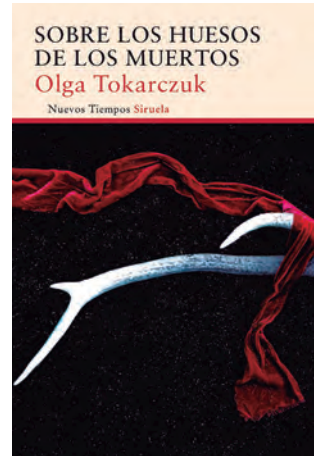
de Cine Polaco: a la dirección y al maquillaje; y Agnieszka Mandat recibió el premio a mejor actriz en el Festival de Valladolid.



Un lugar llamado Antaño.
[Traducción de Ester Rabasco
Macías y Bogumiła Wyrzykowska].
Barcelona: Lumen, 2001. 241 p.



Los errantes.
[Traducción de Agata Orzeszek].
Barcelona: Anagrama, 2019.
400 p.



Sobre los huesos de los muertos.
[Traducción de Abel Murcia].
Madrid: Siruela, 2016.
238 p.

Entre sus últimas obras figuran 'Alma perdida' (2017), merecedora del premio 'Bolonia Ragazzi' en 2018; traducida al castellano por Xavier Farré Vidal y publicada por Thule, en noviembre de 2019, con ilustraciones de Joanna Concejo; y 'Relatos bizarros' (2018).

Otro de sus traductores al castellano –y al catalán–, Xavier Farré, señalaba tras ser conocedor de la concesión del Premio Nobel:

“La obra de Tokarczuk es tan diversa que es imposible de hacer que quepa en un solo cajón, y su capacidad de mimetismo de todos los géneros literarios, o podríamos decir de ósmosis natural, puede hacer también que de un libro a un otro te sorprenda de nuevo porque ha roto con todo lo que esperabas. Con una capacidad imaginativa y fabuladora inmensa, especialmente en los primeros libros, en los que a veces se podían encontrar reminiscencias de un realismo mágico, pasa de una parábola (*El viaje del pueblo del Libro*, 1993) a una mezcla de géneros, de historias que se entrelazan y de fragmentos casi ensayísticos en otro libro que sitúa en una época medieval (*Como Casa diurna, casa noctur-*

na, 1998) hasta la recreación, en más de 900 páginas, de la Polonia del siglo XVIII en *Los libros de Jacob* (2014).

En *Los errantes* [*Cos* en la versión catalana], la línea se encuentra más en la fragmentariedad. No podemos decir que es una novela, pertenece a este mundo narrativo tan propio de la autora, donde hay fragmentos íntimos, observaciones (en aeropuertos), historias inventadas y otros con una base real, como la del anatomista holandés Frederik Ruysch. En todas ellas el viaje, la exploración y la interrogación de la existencia aparecen una y otra vez. Y el hecho de encontrarnos con la diferencia. Porque es la diferencia, la alteridad, la construcción imposible de una identidad única, el hecho de estar en un perpetuo movimiento en muchos planes –reales y metafísicos– el que narra una y otro. Con una gran riqueza de descripciones y un cuidado exquisito por los detalles, una lengua que tensa las estructuras del idioma. Tokarczuk ha creado todo un mundo único en el que nos vemos reflejados, y consigue que un escalofrío nos recorra cada vez que asistimos a sus viajes narrados” (Farré, 2019).

En 2007, la propia autora nos dejó un testimonio autobiográfico de su trabajo:

“Todo aquel que en algún momento haya intentado escribir una novela sabe lo duro que es este trabajo, sin duda una de las peores formas de autoempleo. Hay que quedarse permanentemente encerrado en uno mismo, en una celda individual, completamente a solas. No deja de ser una psicosis controlada, una paranoia y una obsesión uncidas al trabajo, desprovistas por lo tanto de plumas, polisonas y máscaras venecianas por las que las conocemos, sino ataviadas más bien con delantales de carnicero, calzados con bota de goma, empuñando un cuchillo de destripar. Desde este sótano de escritor se ven apenas los pies de los transeúntes y se oye el taconeo. A veces alguien se detiene, se agacha y echa un vistazo al interior, y entonces por fin puede verse un rostro humano e incluso intercambiar unas palabras. Pero en realidad la mente sigue ocupada en el juego que desarrolla ante sí misma en un panóptico trazado a vuela pluma para mover figuritas sobre ese escenario provisorio: el autor y la protagonista, la narradora y la lectora, la que describe y la que es descrita; los pies, los zapatos, los tacones y los rostros más tarde o más temprano formarán parte de este juego.

No estoy arrepentida de haber elegido esta singular ocupación; no habría sido una buena psicóloga. No sabía revelar fotografías familiares desde el cuarto oscuro de los pensamientos ajenos, ni explicarlas. Las confesiones de otros, lo admito con tristeza, a menudo me aburrían...” (Tokarczuk, 2007).



Alma perdida [Traducción de Xavier Farré Vidal; ilustraciones de Joanna Concejo]. Barcelona: Thule, 2019. 52 p.

■ La narradora tierna: su conferencia Nobel

El discurso de Olga Tokarczuk, en la recepción del Nobel de Literatura, largo pero luminoso, comienza con una reflexión en torno a una fotografía en blanco y negro, tomada en torno a la década de 1960; de ella nace el hilo argumental que lleva a la autora a rememorar su infancia en compañía de su progenitora “una joven que nunca fue religiosa, mi madre, me dio algo que alguna vez se conoció como un alma, y me transformó en la narradora más tierna del mundo”.

Se ocupa luego de “los grandes telares de información”, lo que la lleva a plantearse el que:

“... cómo pensamos sobre el mundo y, quizás aún más importante, cómo lo narramos tiene un significado masivo (...) la literatura se ha convertido en un campo para el intercambio de experiencias, un ágora donde todos pueden contar su propio destino o dar voz a su alter ego. Por lo tanto, es un espacio democrático: cualquiera puede hablar, todos

pueden crear una voz que hable por sí misma. Nunca en la historia de la humanidad tantas personas han sido escritoras y narradoras...”.

Ante el poderoso generador de información que constituye Internet, “la literatura plantea preguntas que no pueden responderse con la ayuda de Wikipedia, ya que va más allá de la información y los eventos, refiriéndose directamente a nuestra experiencia”. No obstante la oferta multimedia de nuestro tiempo la lleva a pensar que:

“... es posible que la novela y la literatura en general se estén convirtiendo, ante nuestros propios ojos, en algo bastante marginal en comparación con otras formas de narración. Que el peso de la imagen y de las nuevas formas de transmisión directa de la experiencia (cine, fotografía, realidad virtual) constituirá una alternativa viable a la lectura tradicional. La lectura (...) requiere una cierta competencia intelectual. Y, sobre todo, exige atención y concentración, habilidades cada vez más raras en el mundo actual, pleno de distracciones”.

Por ello plantea la necesidad de contar historias sobre el mundo actual, donde los mensajes –por su abrumadora presencia– han perdido la definición de sus límites hasta convertirse en irreales; en este escenario:

“La literatura es una de las pocas esferas que intentan mantenernos cerca de los hechos difíciles del mundo, porque por su propia naturaleza siempre es psicológica, porque se enfoca en el razonamiento interno y los motivos de los personajes, revela su experiencia inaccesible a los demás, a otra persona, o simplemente provoca al lector a una interpretación psicológica de su conducta. Solo la literatura es capaz de permitirnos profundizar en la vida de otro ser, comprender sus razones, compartir sus emociones y experimentar su destino”.

Un nuevo paso en su discurso nos dirige, de nuevo, hacia su madre y a los cuentos de hadas que ella le leía en sus primeros años; la realidad le ha mostrado un mundo bien diverso al imaginado en su infancia. Su crítica sobre la situación actual es feroz:

“El mundo se está muriendo y no lo notamos. No vemos que el mundo se está convirtiendo en una colección de cosas e incidentes, una

extensión sin vida en la que nos movemos perdidos y solitarios, arrojados aquí y allá por las decisiones de otra persona, limitados por un destino incomprensible, una sensación de ser el juguete de las principales fuerzas de la historia o el azar. Nuestra espiritualidad se está desvaneciendo o se está volviendo superficial y ritualista. O bien, nos estamos convirtiendo en seguidores de fuerzas simples, físicas, sociales y económicas, que nos mueven como si fuéramos zombis. Y en un mundo así somos realmente zombis”.

Luego retoma el camino del trabajo del narrador: “Me fascina asociar hechos y buscar orden. En el fondo, estoy convencida, la mente del escritor es una mente sintética que recoge obstinadamente todas las pequeñas piezas en un intento de unir las nuevamente para crear un todo universal”, un concepto, el de ‘universal’, que le lleva a justificar una nueva forma de vincular la narración a la actualidad social:

“Nuestro discurso, pensamiento y creatividad no son algo abstracto, alejado del mundo, sino una continuación en otro nivel de sus interminables procesos de transformación (...) Por lo tanto, podría ser mejor contar historias honestamente de una manera que active un sentido del todo en la mente del lector, que active la capacidad del lector para unir fragmentos en un solo diseño y descubrir constelaciones enteras en las pequeñas partículas de eventos. Para contar una historia que deja en claro que todos y todo está inmerso en una noción común, que producimos minuciosamente en nuestras mentes con cada giro del planeta”.

Los últimos párrafos de su discurso son una descripción personal de su motivación literaria:

“Escribo ficción, pero nunca es pura fabricación. Cuando escribo, tengo que sentir todo dentro de mí. Tengo que dejar que todos los seres vivos y los objetos que aparecen en el libro me atraviesen, todo lo que es humano y más allá de lo humano, todo lo que está vivo y no está dotado de vida. Tengo que mirar de cerca cada cosa y persona, con la mayor solemnidad, y personificarlas dentro de mí, personalizarlas.

Para eso me sirve la ternura, porque la ternura es el arte de personificar, compartir sentimientos y, por lo tanto, descubrir similitudes sin fin. (...) La ternura es la forma más modesta de amor. (...) es espontánea y desinteresada; va mucho más allá del sentimiento de empatía (...).

La emergencia climática y la crisis política en la que ahora estamos tratando de encontrar nuestro camino, y que estamos ansiosos por oponernos al salvar al mundo, no han salido de la nada. A menudo olvidamos que no son solo el resultado de un giro del destino, sino de algunos movimientos y decisiones muy específicos, económicos, sociales y que tienen que ver con la perspectiva mundial (incluidos los religiosos). La avaricia, el incumplimiento de la naturaleza, el egoísmo, la falta de imaginación, la rivalidad interminable y la falta de responsabilidad han reducido el mundo al estado de un objeto que puede cortarse en pedazos, agotarse y destruirse.

Es por eso que creo que debo contar historias como si el mundo fuera una entidad viviente, única, que se forma constantemente ante nuestros ojos, y como si fuéramos una parte pequeña y al mismo tiempo poderosa” (Tokarczuk, 2019).



Olga Tokarczuk en la Academia Sueca, el 7/12/2019, instantes antes de pronunciar su conferencia Nobel © Nobel Media. Photo: Alexander Mahmoud.

■ Bibliografía

Ahsan, Kamil, (2019). ‘Drive Your Plow’ Is Philosophical Lament, Disguised As A Whodunit”, *NPR*, 16/08/2019.

Farré, Xavier, (2019). “El món únic d’Olga Tokarczuk”, *Llegim*, 10/10/2019.

Franklin, Ruth, (2019). “Olga Tokarczuk’s Novels Against Nationalism”, *The New Yorker*, 29/07/2019.

Hernández González, Arturo, (2019). “Olga Tokarczuk: De la identidad urgente”, *Colofón*, 18/10/2019.

Manrique Sabogal, Winston, (2019). “Olga Tokarczuk, Nobel de Literatura, o las claves para leer y comprender el presente literario”, *WMagazin*, 11/10/2019.

Murcia, Abel, (2019). “Olga Tokarczuk, la imaginación al servicio de un mundo mejor”, *El Cultural*, 11/10/2019.

[The Nobel Committee for Literature], (2019). *Prize announcement. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2018*, [<https://www.nobelprize.org/prizes/literature/2018/summary/>], [consultada en 20/12/2019].

Tokarczuk, Olga, (2019). *Nobel Lecture*. [<https://www.nobelprize.org/prizes/literature/2018/tokarczuk/104871-lecture-english/>], [consultada en 20/12/2019].

■ Literatura de Olga Tokarczuk en castellano

1996. *Un lugar llamado Antaño*, [traducción de Ester Rabasco Macías y Bogumiła Wyrzykowska]. Barcelona, Lumen, 2001, 241 p.

2009. *Sobre los huesos de los muertos*, [traducción de Abel Murcia]. México D.F., Océano, 2015, 200 p.; nueva edición en Madrid, Siruela, 2016, 238 p.

2007. *Los errantes*, [traducción de Agata Orzeszek], Barcelona, Anagrama, 2019, 400 p.

2017. *Alma perdida*, [traducción de Xavier Farré Vidal; ilustraciones de Joanna Concejo], Barcelona, Thule, 2019, 52 p.

■ Cine

El rastro / Pokot, [dirección de Agnieszka Holland, con la colaboración de Kasia Adamik; escrita por Olga Tokarczuk y Agnieszka Holland], Madrid, Festival Films / Karma Films, 2018.

Premio Nobel de Literatura 2019

PETER HANDKE, EL ACOMODADOR DE LUGARES



En el anverso de la medalla se muestra la efigie de Alfred Nobel con las fechas de su nacimiento NAT MDCCCXXXIII y muerte OB MDCCCXCVI. 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 iuvat excoluisse per arte*, las palabras han sido tomadas de la *Eneida* de Virgilio. 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.

Antonio González Bueno

■ Apuntes para una biografía

Peter Handke nació en Griffen, una pequeña localidad del distrito de Völkermarkt, en el estado de Carintia, Austria, próximo a la región eslovena; vino al mundo un 6 de diciembre de 1942, en un entorno familiar que no hacía predecir su posterior desarrollo literario: su madre, empleada de la limpieza, pertenecía a la minoría eslovena establecida en Austria; su padre trabajaba como peón de la construcción (Dreymüller, 2017a). Cursó sus estudios secundarios en un internado donde dedicó buena parte de su tiempo a la lectura de William Faulkner (1897-1962) y Henry-Graham Greene (1904-1991), sus tutores literarios en la distancia.

Inició los estudios de la licenciatura de Derecho en la Universidad de Graz; allí participa en un grupo literario, Forum Stadtpark, que acabará definiendo su bagaje intelectual vanguardista y, en 1965, inicia su actividad como crítico literario para la radio del Estado federal de Estiria, Radio Steiermark (Dreymüller, 2017b).

En 1966 vio la luz su primera novela *Los avispones* (Handke, 1966) y estrena su polémico *Insultos al público* (Handke, 1966), bajo la dirección de Claus Peymann, en el Theater am Turm de Fráncfort del Meno. En esta década de 1960 culmina otras dos de las obras de teatro que marcarán su impronta en los movimientos vanguardistas de estos años: *Gaspar* (Handke, 1966) y *El pupilo quiere ser tutor* (Handke, 1969), modelo de teatro experimental donde se constata su preocupación por el lenguaje. Ya en 1967 recibirá su primera distinción por su –apenas iniciada– andadura literaria: el premio ‘Gerhart Hauptmann’.

En 1970 se instaló en Francia, en la periferia de París. Pocos meses después sufrió una experiencia traumática, el suicidio de su madre; sus emociones ante la muerte de quien tan profundamente le marcó las hizo públicas en el relato *Desgracia impenable* (Handke, 1972). Prácticamente coetánea es la separación de su mujer, la actriz Libgart Schwarz, de nuevo nos transmitirá su experiencia en *Carta breve para un largo adiós* (Handke, 1972).



Peter Hanke en 1976. Fotografía de Brigitte Friedrich.

En estos años iniciales de la década de 1970, su literatura se atempera y se vuelve más introspectiva; sus ensayos *El peso del mundo: un diario (noviembre 1975-marzo 1977)* (Handke, 1977) e *Historia del lápiz: materiales sobre el presen-*

te (Handke, 1982), dan buena prueba de ello. No significa esto que abandonara la polémica o la crítica, sirva de ejemplo su ensayo *Cuando desear era todavía útil* (Handke, 1974) y buena parte de sus artículos periodísticos de estos años. Los setenta son, también, años de reconocimientos: el premio de Literatura del Estado federado de Estiria, concedido en 1972, los premios 'Schiller', de la ciudad de Mannheim, y 'Georg Büchner', otorgados en 1973 y los 'Gilde deutscher Filmkunsttheater' y 'Franz Kafka' de la ciudad de Klosterneuburg, entregados en 1979.

En su narrativa comenzará a percibirse un cambio sustancial, más personal, tras su viaje a los Estados Unidos de Norteamérica; su relato *Lento regreso* (Handke, 1979), la novela *La doctrina del Sainte-Victoire* (Handke, 1980), su poemario *Por los pueblos* (Handke, 1981) o la novela *Historia de niños* (Handke, 1981) se corresponden con esta etapa.

Tras su estancia norteamericana se instaló en Salzburgo, donde participó en los movimientos de protesta contra el auge de la extrema derecha en este país, unas ideas que llevó a las prensas en las páginas de *El chino del dolor* (Handke, 1983). La situación política austríaca le llevó a trasladarse, nuevamente, a Francia, donde vive actualmente. En la década de los ochenta recibió los premios de Cultura del Estado federado de Carintia (1983), 'Franz Grillparzer' (1983), 'Anton Wildgans' (1983, que rechazó), Fondo de Cultura de Salzburgo (1986), Gran Premio del Estado de Austria (1987) y premio de Literatura de Bremen (1988).

Su producción de los primeros años noventa nos revelan un autor cada vez más introspectivo y reflexivo, transmisor de un pensamiento condensado en obras de poca extensión, pero de gran intensidad, como la novela *La ausencia* (Handke, 1987), *Ensayo sobre el juke-box* (Handke, 1990), o *Ensayo sobre el día logrado: sueño de un día de invierno* (Handke, 1991). Este año de 1991 se hará acreedor al premio 'Franz Grillparzer' y, cuatro años después, en 1995, del premio conmemorativo 'Schiller'.

En la década de los noventa, Peter Handke saltó a la prensa por su postura contraria a la intervención de las fuerzas militares de la OTAN en la guerra de los Balcanes; sus opiniones, calificadas en algunos medios como de apoyo a la causa serbia, provocaron una avalancha de artículos donde novelistas, cineastas, actores y directores de teatro mostraron su postura crítica o favorable hacia su persona; el cénit se produjo en 2006, al serle concedido, en Düsseldorf, el premio 'Heinrich Heine', con el que se homenajea a un autor que haya sabido mantener en su obra

los ideales de preservación de los derechos humanos, la fe en el progreso social y político o el reconocimiento de una cultura común e igual a todos los hombres, defendidos por el poeta y ensayista Christian Johann Heinrich Heine (1797-1856); sus críticos recordaron su visita a Slobodan Milosevic (1941-2006) en la prisión de Scheweningen, en La Haya, sus polémicas intervenciones ante los medios de comunicación y su asistencia al entierro del político serbio. Como reacción a la especial situación creada tras su nominación al premio ‘Heinrich Heine’ de Düsseldorf, el teatro Berliner Ensemble de Berlín le ofrecerá su premio ‘Heinrich Heine’ de 2007, al que renunciará, donando su importe en metálico a un enclave en Kosovo. Peter Handke había expresado su opinión sobre la guerra de la antigua Yugoslavia en el ensayo *Un viaje de invierno a los ríos Danubio, Save, Morava y Drina o Justicia para Serbia* (Handke, 1996); en la recopilación *Contra el sueño profundo* (Handke, 1987) nos ofrecerá su opinión personal al respecto de esta polémica (Montesinos, 2006).

Viajero infatigable, con una particular capacidad para construir –desde un hecho aparentemente insignificante– un profundo y reflexivo relato, nos ofrece una descripción de su mundo íntimo en *La noche del Morava* (Handke, 1996), un relato circular –entre real e imaginario– por los Balcanes, España, el sur de Alemania, Austria y, cerrando el círculo, de nuevo, los Balcanes. Ernesto Calabuig (2019) le ha definido como “el gran observador-registrador de las cosas del mundo”.

Su obra literaria sigue siendo bien apreciada en los inicios del siglo XXI: en 2004 se hará acreedor del premio ‘Siegfried Unseld’; en 2008 la Academia Bávara de Bellas Artes le otorgará el premio de literatura ‘Thomas Mann’; la ciudad de Praga le distinguirá, en 2009, con el ‘Franz Kafka’; en 2011 obtuvo el premio de teatro ‘Nestroy’ por *Immer noch Sturm* [Sigue la tormenta], concedido por el Festival de Salzburgo; en 2014 fue galardonado con el premio ‘Ibsen’, como reconocimiento a su talento en el arte dramático; en 2015 fue nombrado ‘Ciudadano de Honor’ de Belgrado, por su trabajo en la promoción de esta ciudad y de Serbia en el mundo.

La Universidad de Alcalá le concedió, en la primavera de 2017 (25/05) el título de Doctor *Honoris Causa* y, apenas unos días antes, en abril de 2017, fue galardonado con el premio ‘Milovan Vidakovic’ que otorga el festival de literatura Prosefest, en la ciudad serbia de Novi Sad. En 2019, la Academia Sueca le concedió el Premio Nobel de Literatura “por su trabajo influyente que, con genio lingüístico, ha explorado la periferia y la especificidad de la experiencia humana”

[The Nobel Committee for Literature] (2019); una concesión que, como era de esperar, no ha estado exenta de críticas (Aguilar, 2019).

Además de su actividad como narrador y autor dramático, Peter Handke ha llevado a las pantallas cinematográficas su propia obra: *La mujer zurda*, *La ausencia* o *El miedo del portero ante el penalti* (1972), y ha colaborado, como guionista, con Wim Wenders, en un cortometraje musical, *Tres LPs. Americanos* (1969) y en las películas *Falso movimiento* (1975) y *El cielo sobre Berlín* (1987) (Larrosa, 1998; Santana, 2010).



Fotograma de *El cielo sobre Berlín* [dirección Wim Wenders; producción Wim Wenders y Anatole Dauman; guión Wim Wenders y Peter Handke]. L'Hospitalet: Filmax, 2003.

Eustaquio Barjau, traductor de su obra al castellano y uno de los mejores conocedores de su mentalidad, definía así la interrelación entre cine y literatura en la obra de Peter Handke, en una entrevista realizada en 1997:

“El cine es narratividad gráfica y sonora, y la obra de Handke es cada vez más una descripción de lo que se narra. De modo que, muchas páginas de la obra de Handke parecen el discurso de una persona que le está contando a un ciego la película que ve. Todo es muy concreto, todo se ve, todo es muy explícito. Es una literatura cinematográfica, sin huecos, donde se cuenta todo. Cine más mensaje, algo que el autor le dice al espectador (...) Haenke hace un cine que siempre dice algo...” (Gutiérrez, 1997: 56).



Eustaquio Barjaiu junto a Peter Handke, durante el rodaje de *La ausencia* (1987). Fotografía de Vasos Comunicantes, 1994.

El objetivo narrativo de Haenke no es la reconstrucción histórica, le interesa la huella de las vivencias humanas, el rastro permanente de las experiencias de las que el territorio ha sido escenario, en este o en cualquier otro tiempo, en este o en cualquier otro espacio. En *La pérdida de la imagen o, Por la sierra de Gredos* (Handke, 2002), escribirá:

“... ninguna aventura exterior narra y se hace narrable si al mismo tiempo no hace salir también algo interior: sorprendiéndote de ti mismo gracias a aquello que te llamó la atención desde fuera, asustándote de ti mismo y maravillándote de ti mismo o, como se ha dicho, simplemente encontrando algo extraño en ti mismo y descubriendo un problema así y reflexionando sobre este problema y narrándolo como un problema tuyo, o, no como un problema general de la vida, en conexión naturalmente con la aventura exterior, donde lo exterior y lo interior, de un modo tan real como literal, corren parejas” (Handke, 2002).

Jorge Larrosa (1996) y Antonio Castilla Cerezo (2012) han señalado cómo la reflexión se hace presente en la narrativa de Peter Handke; en su opinión se manifiesta a través del silencio, de la ruptura en el ritmo de la construcción, de ahí

la importancia de la palabra en sus textos. Y Julián Aldana (2006) ha definido a sus personajes como ‘sujetos neocínicos’, individuos que viven integrados en la sociedad pero con unas particularidades propias que les apartan de ella.

Su faceta como autor ha ocultado una importante labor de traductor, tanto de obras griegas clásicas (Adonis, Esquilo, Sófocles, Eurípides), el propio William Shakespeare y autores franceses y norteamericanos (Bruno Bayen, Emmanuel Bove, René Char, Jean Genet, Georges-Arthur Goldschmidt –traductor al francés–, Julien Green, Gustav Januš, Florjan Lipuš, Patrick Modiano, Francis Ponge y Walker Percy, entre otros). Un trabajo que retroalimenta su propia actividad narrativa; cómo no detectar, en su *Historia de niños* (Haenke, 1981), la influencia de la *Historia de la guerra del Peloponeso* de Tucídides, cuya sombra se prolonga en el tiempo (Lizundia, 2001).

Georg Pichler, en la *laudatio* pronunciada con motivo de su investidura en la Universidad de Alcalá, definirá su estilo literario en los siguientes términos:

“La escritura de Peter Handke es, en primera instancia, física, es la palabra tangible, como él mismo apunta: ‘Esta es una frase tranquila que vibra a la vez’. Y consiste en el intento de narrar el narrar narrando, es decir, hacer visible el proceso de narrar, convertirlo en parte integral del texto mismo. La poética de Handke no sigue un programa elaborado sino está en constante desarrollo, se deja influir, penetrar por las viven-



Peter Handke en España, mayo de 2017. Fotografía de Bernardo Pérez [Instituto Goethe].

cias y lecturas del autor, en un acto de enfrentarse escribiendo, en cada momento, a la realidad y a sus propias verdades. Eso implica un rechazo absoluto de los tópicos sociales, como apunta en uno de sus cuadernos: ‘Conseguir vivir más allá de la consciencia, de las opiniones, imaginaciones de los demás’ (Pichler, 207).

■ Peter Handke en España y España en la obra de Peter Handke

La presencia de Peter Handke en las tablas teatrales y en los estantes de las librerías se hizo presente en los últimos años del Franquismo. De la mano de José Luis Gómez, se estrenó, en el Teatro de la Zarzuela de Madrid, en 1971, dentro del II Festival de Teatro, *El pupilo quiere ser tutor* (Handke, 1969) y, un par de años después, en 1973, *Gaspar* (Handke, 1966), en el Teatro Arlequín de Madrid.



Escena de *Gaspar*, de Peter Handke, bajo la dirección de José Luis Gómez, representado en el Teatro Arlequín de Madrid, 5 de abril de 1973. Fotografía del Centro de Documentación Teatral *Teatro.es*

Junto a la puesta en escena de sus obras teatrales, Peter Handke fue conocido entre el público de habla hispana por su participación como guionista en *El cielo sobre Berlín*, una película dirigida por Wim Wenders y protagonizada por Bruno Ganz y Solveig Dommartin, premiada en el Festival de Cannes y que mereció el European Film Awards en 1987.

“Para una sociedad en pleno proceso de transición del franquismo a la democracia estos libros y la película de Wenders significaban una

bocanada de aire fresco, recuerda el filósofo Miguel Morey. Las enseñanzas de Handke sobre el lenguaje como instrumento del poder, su estricto anticonformismo sociopolítico, sus ataques radicales contra las convenciones institucionales del teatro, del cine y de la literatura fueron acogidos como el maná para un público que, tras casi cuarenta años de encierro en una cultura de cartón piedra, tenía una inmensa necesidad de liberación y de recuperación. No es de extrañar pues que en España Handke en los años ochenta se leyera con un fervor rayano en la urgencia existencial...” (Dreymüller, 2017a).

Tras su controvertida exposición pública de 1996, con su visita a Serbia durante la guerra entre Croacia y Bosnia, su figura pública –y con ello su literatura– pasa al ostracismo; el mundo editorial, que había abrazado sus textos, aparta de él su interés. Solo a partir de 2011 parece comenzar a recuperarse la edición castellana de su obra, en algunas ocasiones con carácter marginal, de interés bibliófilo, como *Canción del niño* (Handke, 1987), con ilustraciones de Jaime Fernández o escritos de pequeña extensión como *Los hermosos días de Aranjuez: diálogo estival* (Handke, 2012) o *Hasta que el día os separe* (Handke, 2019). Una presencia que se ha visto notablemente aumentada tras serle otorgado el Premio Nobel en 2019.

Al día de hoy, Peter Handke es un escritor bien conocido en los círculos literarios hispanos; buena parte de su obra está disponible tanto en las diversas lenguas co-oficiales como en castellano, en este último caso gracias al trabajo de traducción emprendido por Eustaquio Barjaiu, Cecilia Dreymüller, Anna Montané, Víctor Oller, Feliu Formosa y Miguel Sáenz. No han sido los únicos; es preciso recordar también la labor de José Antonio Alemany, Mikel Arizaleta, Carmen Baranda, Gustavo Böhm, Antonio Bueno Tubía, Víctor Canicio, Jorge Deike, Genoveva Dieterich, Marta Fernández Bueno, Pilar Fernández-Galiano, Fruela Fernández Iglesias, Juan Gallo, Yolanda García, Isabel García Adánez, Isabel García Wetzler, Carmen Gauger, Nicolás Gelormini, María A. Gregor, Ariel Magnus, Margarita Medina, María Parés, Georg Pichler, Sandra Santana, Susana Yunquera y Francisco Zanitigh Núñez.

Basta una somera lectura de algunos de los títulos de Peter Handke para descubrir la presencia de España en sus textos: *La pérdida de la imagen o, Por la sierra de Gredos* (Haenke, 2002), *Don Juan, contado por él mismo* (Haenke, 2004), *Las Tablas de Daimiel* (Haenke, 2005) o *Los hermosos días de Aranjuez*:



El juego de las preguntas.
[Traducción de Eustaquio Barjau y Susana Yunquera].
Barcelona: Alfaguara, 1993.



El peso del mundo.
[Traducción de Nicolás Gelormini]. Buenos Aires:
Adriana Hidalgo, 2003.



Los avispones.
[Traducción de Anna Montané]. Madrid:
Nórdica Libros, 2010.



La noche del Morava.
[Traducción de Eustaquio Barjau, con la colaboración de
María Parés y Georg Pichler].
Madrid: Alianza, 2013.



Contra el sueño profundo.
[Traducción de Cecilia Dreytmüller]. Madrid:
Nórdica, 2017.



Ensayo sobre el cansancio.
[Traducción de Eustaquio Barjau]. Madrid:
Alianza, 2018.

diálogo estival (Haenke, 2012) confirman este aserto. No son los únicos; con ocasión de su investidura como *Doctor Honoris Causa* por la Universidad de Alcalá, en el mayo de 2017, Cecilia Dreymüller preparó una antología de la presencia de las tierras y las gentes de España en los textos de Peter Handke (Dreymüller, 2017a).



Peter Handke investido *Doctor Honoris Causa* por la Universidad de Alcalá, 24/05/2017. Fotografía de Fernando Villar (EFE).

Soria fue lugar de reposo del escritor, en estancias breves, entre los años 1987 y 1990 (Pichler, 2017) y, de manera prolongada, en la primavera de 1989; allí redactará su *Ensayo sobre el jukebox* (Haenke, 1990) (Romeo, 2006), un título que rememora a una sinfonola que solo encontró en un pequeño bar de Linares (Jaén) durante los preparativos de la Semana Santa, un lugar donde acabará de pergeñar y redactar su *Ensayo sobre el cansancio* (1989).

Desde 1991 su exploración de las tierras de España se agudiza, largas caminatas a pie, por la orografía aragonesa o por la Sierra de Gredos, le sirven de añoranza de sus excursiones por la Yugoslavia, entonces fratricida. En Llivia, en plena Cerdaña, situó, en el febrero de 1989, parte de *Una vez más para Tucídides* (Handke, 1990), que tiene sus prolegómenos en sus vivencias en tierras gallegas (La Coruña, Vigo, Santiago) en marzo de 1988. Esas vivencias de los inicios de la primavera de 1988 vuelven a aflorar en sus anotaciones de *Ayer, de camino* (Handke, 2005); se unen a ellas sus impresiones de la Semana Santa de Ponferrada, León

y Astorga, lugares tan ricos en presencias románicas, en un viaje que continúa por Cantabria, Asturias y el País Vasco. Las calles de Toro (Zamora) “con sus fachadas todas ellas del mismo color” se dejan traslucir en la ‘Historia del pintor’ incluida en *El año que pasé en la bahía de nadie* (Handke, 1994), compartiendo espacio con la Tarragona mediterránea y el recuerdo de sus primeras estancias en tierras gallegas (Vigo, Pontevedra, Santiago, La Coruña). Numancia, en la vecindad de Soria, es el marco geográfico del ‘Simposio sobre ruido y ruidos’ tan presente en *La noche del Morava* (Handke, 2008). La ciudad, los paisajes y las mujeres –más oníricas que reales– de Ceuta encuentran su espacio en su particular *Don Juan, contado por él mismo* (Handke, 2004).

El propio Peter Handke describirá, en una entrevista concedida a Cecilia Dreymüller en 2003, el porqué de su fascinación por España:

“Bueno, lo he dicho muchas veces, es porque el paisaje es tan vacío. Allí uno se puede imaginar historias. Hay una energía, no sé, erótica. Es un país con espacios enormes donde no hay nada, donde piensas. ‘si alguien viniera por aquí, pasará algo, estaríamos abiertos el uno al otro’. Tal vez es esto. Luego también es porque yo soy un lector de Juan de la Cruz y Teresa de Ávila, que he leído palabra por palabra en castellano, y a Luis de León, el sucesor de Horacio. Cuando fui a España, atravesando los Pirineos, y llegué a La Mancha, estaba escribiendo *Ensayo sobre el cansancio* (1989) y después fui en tren en dirección sur. El viaje se me hizo muy largo. Me bajé en una estación cualquiera, Linares, Baeza,



Peter Handke, en su domicilio de Chaville (Francia).

Úbeda, no sabía dónde estaba. Linares me pareció tan misteriosa, pensé que era como una ciudad bíblica sin tiendas de campaña. Y simplemente me quedé allí...” (Dreymüller, 2003).

■ Jugar el juego: su conferencia Nobel

Peter Handke comenzó su conferencia Nobel, una de la más breves de la historia de estos premios, recordando unas evocadoras palabras de su poema dramático *Por los pueblos*; retorna con ellas a su infancia y a las narraciones transmitidas por su madre, sobre su propia familia o sobre las gentes de su aldea; en ellas encuentra el autor su germen como escritor:

“Si los pequeños sucesos que describió mi madre me proporcionaron, durante casi toda mi vida, el ímpetu para mi carrera de escritor, las obras de arte me dieron las formas esenciales, los ritmos o, para decirlo más modestamente, las oscilaciones y el impulso que permitieron encontrar ese ímpetu. Estoy pensando no solo en libros, sino también en pinturas, películas (sobre todo en westerns de John Ford y ‘easterns’ de Yasujiro Ozu) y canciones (eventualmente, por ejemplo, las de Johnny Cash y Leonard Cohen). Las primeras oscilaciones y empuje, sin embargo, no provenían de las artes; lo que me conmovió y emocionó como un niño fue la letanía religiosa eslovena-eslava que escuché debajo de los arcos románicos de la iglesia cerca del lugar de nacimiento, Stara Vas. Y aquellas a la vez monótonas y oh, invocaciones tan melodiosas, dirigidas hacia el cielo todavía me conmueven y animan a los setenta y siete años. Arrancan las cuerdas que acompañan mi camino posterior como escritor, tararean escalas y cadencias celestiales, sin sonido, como en la maravillosamente larga *Letanía Laurentiana a Nuestra Señora*, que contiene quizás un centenar de epítetos e invocaciones (Handke, 2019).

Unas letanías que, de algún modo, condicionan el ritmo cadencioso de sus textos. Sus actitudes políticas, que han provocado la polémica en la concesión del premio, estuvieron ausentes de su discurso, salvo una liviana alusión –quién sabe si fortuita– al escritor noruego Knut Hamsun (1859-1952), premio Nobel de Literatura en 1920, vilipendiado por sus ideas cercanas al nazismo.



Peter Handke en el instante de pronunciar su conferencia Nobel ante la Academia Sueca © Nobel Media. Photo: Alexander Mahmoud.

■ Corolario

No es fácil la lectura de la obra del Nobel austríaco, Eustaquio Barjau lo reconocía en una entrevista concedida en 1997:

“Handke tiene la gran dificultad para el lector medio, que de sus obras, muchas de ellas están metidas dentro de una concepción del mundo, de una concepción del lenguaje, tan complejas, que puede resultar absolutamente enigmático para quien no está metido en la obra (...) el tema único de Peter Handke [es] el lenguaje, los distintos tipos de lenguaje, no habla casi de otra cosa, hasta en su últimas obras [1997]. De ahí la tremenda complicación que plantea al lector...” (Gutiérrez, 1997: 57).

Tampoco su carácter rompedor, presente ya desde los mismos comienzos de su producción:

“Espero de una obra literaria una novedad para mí, algo que, aunque solo escasamente, produzca un cambio en mí; algo que me vuelva consciente de una todavía no pensada, todavía no consciente posibilidad de la realidad; una nueva posibilidad de mirar, de hablar, de pensar, de existir.

[...] Espero de la literatura que rompa todos los aparentemente definitivos conceptos del mundo” (Handke, 1967 *fide* Dreytmüller, 2017: 13).

Un objetivo logrado en cada una de sus producciones, narrativas o teatrales, buscado y defendido con firmeza, alejado de la condescendencia periodística y de lo ‘políticamente correcto’; los suyos son textos llenos de subjetividad, ajenos a las mitificaciones y los tópicos, fruto de su lucidez y de una gran capacidad de síntesis. Textos veraces y honestos de un autor que ‘no ha dejado de caminar’ por el sendero de la vida y la literatura (López Carballo, 2016).

■ Bibliografía

Adreya, Piper, (2010). *Peter Handke: novelista y dramaturgo austriaco*, Valladolid, Fancy Ediciones.

Aguilar, Andrea, (2019). “Escritores contra Peter Handke”, *El País*, 12/10/2019.

Aldana, W. Julián, (2006). “El hombre emancipado o desalienado. Una mirada al nuevo cínico en tres novelas de Peter Handke”, *Espéculo. Revista de Estudios Literarios*, 33, <http://www.ucm.es/info/especulo/numero33/phandke.html> [consulta: 01/12/2019].

Calabuig, Ernesto, (2019). “Por las sendas de Peter Handke”, *El Cultural*, 10/10/2019.

Castilla Cerezo, Antonio, (2012). “Narrativa y corporalidad: Reflexiones en torno a ‘El chino del dolor’, de Peter Handke”, *Thémata. Revista de Filosofía*, 46, 447-454.

Dreytmüller, Cecilia, (2003). “España, una estación cualquiera”, *El País*, 11/10/2003.

Dreytmüller, Cecilia, (2017a). “Prólogo. Una vida terrenal indevastable”, En Cecilia Dreytmüller (ed.) *Peter Handke y España*, 9-19, Madrid, Alianza.

Dreytmüller, Cecilia, (2017b). “Prólogo. Me importa el método”, En: Peter Handke. *Contra el sueño profundo (ensayos de crítica sobre arte, literatura y política*, [traducción de Cecilia Dreytmüller], 13-20, Madrid, Nórdica.

Handke, Peter, (2019). *Nobel Lecture*, [<https://www.nobelprize.org/prizes/literature/2019/handke/105008-lecture-english/>], [consulta: 20/12/2019].

Larrosa Bondía, Jorge, (1996). *La experiencia de la lectura. Estudios sobre literatura y formación*, Barcelona, Laertes.

Larrosa Bondía, Jorge, (1998). “Bildung y nihilismo: notas sobre ‘Falso Movimiento’ de Peter Handke y Wim Wenders”, *Revista Educación y Pedagogía*, 10(22), 61-77.

Lizundia Zamalloa, José María, (2001). Peter Handke, sus umbrales y merodeos; las Posiciones Descentradas”, *Cuadernos del Ateneo*, 11: 42-45.

López Carballo, Pablo, (2016). “Peter Handke no ha dejado de caminar”, *Quimera*, 388, 28.

M. Gutiérrez, Gregorio, (1997). “Diálogo con Eustaquio Barjau: en torno a Peter Handke”, *Cuadernos del Ateneo*, 2, 55-59.

Montesinos Caperos, Manuel, (2006). “La visión de la guerra en la antigua Yugoslavia en Juan Goytisolo y Peter Handke”, En Manuel Maldonado Alemán (coord.) *Austria, España y Europa: identidades y diversidades*, 91-106, Sevilla, Universidad de Sevilla.

[The Nobel Committee for Literature], (2019). *Prize announcement. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019*, [<https://www.nobelprize.org/prizes/literature/2019/summary/>], [consultada en 20/12/2019].

Pichler, Georg, (2017). *Doctor Honoris Causa Peter Handke. Laudatio*, Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá.

Romeo, Félix, (2006). “Desesperadamente buscando a Peter Handke”, *Letras Libres*, 59, 40-44.

Santana, Sandra, (2010). “Sombras de celuloide sobre un paisaje desierto: tres personajes de Peter Handke y Wim Wenders”, *Minerva*, 13, 60-61.



Peter Handke en una escena de la película *'In the woods, might be late'*, dirigida por Corinna Belz, 2016.

■ Literatura de Peter Handke en castellano

1966. *Los avispones*, [traducción de Francisco Zanitigh Núñez], [Buenos Aires], C.E. de América Latina, [1973], 199 p., [re-editado en Barcelona, Versal, 1984. 238 p.; otra versión, con traducción de Anna Montané, en Madrid, Nórdica Libros, 2010, 238 p.; editado en *e-book*, en Madrid, Nórdica Libros, 2013].
1967. *Bienvenida al Consejo de Administración*, [traducción de Feliú Formosa]. Barcelona, Laia, 1983, 127 p.
1967. *El vendedor ambulante*, [traducción de Anna Montané], Buenos Aires, El Cuenco de Plata, 2014, 165 p.
1967. *Kaspar*, [traducción de Gustavo Böhm], Buenos Aires, Hidalgo, 1999, 137 p., [otra versión en Madrid, Alianza, 1982 –*vide infra*].
- 1967-1969. *Gaspar* [1967]. *Insultos al público* [1966]. *El pupilo quiere ser tutor* [1969], [traducción de José Luis Gómez y Emilio Hernández], Madrid, Alianza, 1982, 134 p., [otra versión en Buenos Aires, Hidalgo, 1999 –*vide supra*].
1970. *El miedo del portero al penalti*, [traducción de Pilar Fernández-Galiano], Madrid, Alianza, 1979, 151 p., [re-editado, con prólogo de Javier Tomeo, en

- Madrid, Debate, 1991, XVIII, 156 p.; *Ibid.*, con introducción de Eustaquio Barjau, en Barcelona, Círculo de Lectores, 1990, 202 p.: *Ibid.*, Barcelona, Alfaguara, 1994, 192 p.; *Ibid.*, Madrid, Alianza, 2006, 167 p.: *Ibid.*, e-book, 2010; *Ibid.*, e-book, 2013: *Ibid.*, Madrid, Alianza, 2016, 158 p.].
1972. *Desgracia indeseada*, [traducción de Víctor Oller], Barcelona, Barral, 1975. 97 p., [otra versión, sub *Desgracia impenable*, con traducción de Eustaquio Barjau, Madrid, Alianza, 1989, 96 p.; re-editado en Madrid, Alianza, 2010, 106 p.; re-editado, con traducción de Eustaquio Barjau y la colaboración de María Parés, en Madrid, Alianza, 2018, 103 p.].
1972. *Carta breve para un largo adiós*. [traducción de Miguel Sáenz], Madrid: Alianza, 1981. 139 p. [re-impreso en Madrid: Alianza, 1984; *Ibid.*, 1987; re-editada en Madrid: Alianza, 2000. 178 p.; *Ibid.*, Madrid: Alianza, 2006. 203 p.; *Ibid.*, e-book, 2013; *Ibid.*, Alianza, 2017. 181 p.].
1974. *Cuando desear era todavía útil*, [traducción de Víctor Oller], Barcelona, Tusquets, 1978, 120 p., [reimpreso en Barcelona, Tusquets, 1983: *Ibid.*, 1988].
1975. *El momento de la sensación verdadera*, [traducción de Genoveva Dieterich], Barcelona, Alfaguara, 1981. 173 p., [re-impreso en Barcelona, Alfaguara, 1990; re-editado en Barcelona, Alfaguara, 2006, 166 p.; *Ibid.*, en formato e-book, Barcelona, Alfaguara, 2010].
1976. *La mujer zurda*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1979, 121 p., [re-impreso en Madrid, Alianza, 1981: *Ibid.*, 1983; *Ibid.*, 1986; *Ibid.*, 1990; *Ibid.*, 1995; re-editada en *Ibid.*, 2002, 103 p.; *Ibid.*, 2006, 118 p.; *Ibid.*, e-book, 2013; *Ibid.*, 2016, 158 p.].
1977. *El peso del mundo: un diario (noviembre 1975-marzo 1977)*, [traducción de Víctor Canicio, con la colaboración de Carmen Baranda; epílogo de Isabel García Manzano], Barcelona, Laia, 1981, 349 p., [re-impreso en Barcelona, Laia, 1984; otra versión, traducción de Nicolás Gelormini, en Buenos Aires, Adriana Hidalgo, 2003, 327 p.].
1979. *Lento regreso*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1985, 154 p., [re-editado en Madrid, Alianza, 2018, 196 p.].

1980. *La doctrina de Sainte-Victoire*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1985, 110 p., [re-editado en Madrid, Alianza, 2018, 135 p.].
1980. *Contra el sueño profundo (ensayos de crítica sobre arte, literatura y política)*, [traducción de Cecilia Drey Müller], Madrid, Nórdica, 2017, 210 p., [re-editado, en e-book, en Madrid, Nórdica, 2019].
1981. *Historia de niños*, [traducción de Jorge Deike], Madrid, Alianza, 1986, 113 p.
1981. *Por los pueblos: poema dramático*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1986, 114 p.
1982. *Historia del lápiz: materiales sobre el presente*, [traducción de José Antonio Alemany], Barcelona, Península, 1991, 238 p., [re-impreso en Barcelona, Península, 1992; re-editado sub *Historia del Lápiz: vida y escritura*, en Barcelona, Península, 2003, 413 p.].
1983. *El chino del dolor*, [traducción de Margarita Medina], Barcelona, Alfaguara, 1988, 150 p., [re-impreso en Barcelona, Alfaguara, 1998; *Ibid.*, 2002].
1984. *Fantasías de la repetición*, [traducción de Eustaquio Barjau y Yolanda García], Zaragoza, Las Tres Sorores, 2000. 91 p.
1986. *Poema a la duración*, [prólogo y traducción de Eustaquio Barjau], Barcelona, Lumen, 1991, 80 p.
1986. *La repetición*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1991, 265 p., [re-editado en Madrid, Alianza, 2018. 317 p.].
1987. *La tarde de un escritor*, [traducción de Isabel García Wetzler], Barcelona, Alfaguara, 1990. 125 p., [re-impreso en Barcelona, Alfaguara, 1994; re-editado en Barcelona, Alfaguara, 2006, 113 p.; re-editado, en formato e-book, en Barcelona, Alfaguara, 2010].
1987. *La ausencia*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1993. 194 p.

1987. *Pero yo vivo solamente de los intersticios. Peter Handke en diálogo con Herbert Gamper*, [traducción de María A. Gregor], Barcelona, Gedisa, 1990, 195 p.
1987. *Canción del niño*, [traducción de Juan Gallo, con ilustraciones de Jaime Fernández], Villaoril-Navia, Dos Cuervos Ediciones, 2015, 12 p.
1989. *El juego de las preguntas*, [traducción de Eustaquio Barjau y Susana Yunquera], Barcelona, Alfaguara, 1993, 146 p.; [re-editado, en formato e-book, en Barcelona, Alfaguara, 2010].
1989. *Ensayo sobre el cansancio*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1990, 86 p., [re-impreso en Madrid, Alianza, 1991; *Ibid.*, 2017; re-editado en Madrid, Alianza, 2006, 91 p.; *Ibid.*, e-book, 2013].
1990. *Ensayo sobre el jukebox*, [traducción de Eustaquio Barjau, con la colaboración de Susana Yunquera], Madrid, Alianza, 1992, 135 p., [re-editado en Madrid, Alianza, 2019, 112 p.].
1990. *Una vez más para Tucídides*, [traducción de Cecilia Dreytmüller], Barcelona, Tres Molins, 2018, 105 p.
1991. *Ensayo sobre el día logrado: sueño de un día de invierno*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1994, 93 p.; [re-editado en Madrid, Alianza, 2019, 88 p.].
1992. *La hora en la que no sabíamos nada los unos de los otros; espectáculo*, [traducción de Eustaquio Barjau], München, Goethe-Institut, 1994, 24 p.
1992. *Lento en la sombra: ensayos sobre literatura, arte y cine*, [selección y prólogo de Matías Serra Bradford; traducción de Ariel Magnus], Buenos Aires, Eterna Cadencia, 2012, 283 p.
1994. *El año que pasé en la bahía de nadie. Un cuento de la época actual*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 1999, 587 p.
1996. *Un viaje de invierno a los ríos Danubio, Save, Morava y Drina o Justicia para Serbia*, [traducción de Eustaquio Barjau y Susana Yunquera], Madrid, Alianza, 1996, 136 p.

1997. *Apéndice de verano a un viaje de invierno*, [traducción de Eustaquio Barjau y Susana Yunquera], Madrid, Alianza, 1997, 102 p.
1997. *Preparativos para la inmortalidad: drama monárquico*, [traducción de Marta Fernández Bueno], Hondarribia, Hiru Argitaletxea, 2005, 140 p.
1997. *En una noche oscura salí de mi casa sosegada*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 2000, 191 p.
1999. *Lucie en el bosque con estas cosas de ahí*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 2001, 80 p.
1999. *El viaje en la canoa o el guión para la película sobre la guerra*, [traducción de Mikel Arizaleta], Hondarribia, Hiru Argitaletxea, 2005, 107 p.
2000. *Preguntando entre lágrimas: apuntes sobre Yugoslavia [sic] bajo las bombas y en torno al Tribunal de La Haya*, [traducción y prólogo de Cecilia Dreymüller], Santiago de Chile, Universidad Diego Portales, 2010, 226 p., [re-editado, con revisión de Ignacio Echevarría y Ana Milutinovic, en Madrid, Alento, 2011, 231 p.].
2002. *La pérdida de la imagen o, Por la sierra de Gredos*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 2003, 562 p.
2004. *Don Juan, contado por él mismo*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 2006, 177 p., [re-editado en e-book, en Madrid, Alianza, 2012].
2005. “Las Tablas de Daimiel”, [traducción de Cecilia Dreymüller], En *Preguntando entre lágrimas: apuntes sobre Yugoslavia [sic] bajo las bombas y en torno al Tribunal de La Haya*, [traducción y prólogo de Cecilia Dreymüller, con revisión de Ignacio Echevarría y Ana Milutinovic], Madrid, Alento, 2011.
2005. *Ayer, de camino: anotaciones, noviembre de 1987 a julio de 1990*, [traducción de Eustaquio Barjau, con la colaboración de Georg Pichler], Madrid, Alianza, 2011, 705 p.
2006. *Vivan las ilusiones: conversaciones* [de Peter Handke con Peter Hamm] *en Chaville y en otros lugares*, [traducción de Eustaquio Barjau], Valencia, Pre-Textos, 2011, 151 p.

2008. *La noche del Morava*, [traducción de Eustaquio Barjau, con la colaboración de María Parés y Georg Pichler], Madrid, Alianza, 2013, 471 p.
2009. *Vivir sin poesía*, [traducción y prólogo de Sandra Santana; compilación poética; texto bilingüe en alemán y español], Velilla de San Antonio (Madrid), Bartleby, 2009, 547 p.
2010. *Siempre Tormenta*, [traducción de Antonio Bueno Tubía], Madrid, Casus Belli, 2020, 142 p.
2011. *La gran caída*, [traducción de Carmen Gauger], Madrid, Alianza, 2014. 180 p.
2012. *Ensayo sobre el lugar silencioso*, [traducción de Eustaquio Barjau], Madrid, Alianza, 2015, 100 p., [re-editado en Madrid, Alianza, 2019, 88 p.].
2012. *Los hermosos días de Aranjuez: diálogo estival*, [traducción de Miguel Sáenz], Madrid, Casus-Belli, 2013, 64 p.
2013. *Ensayo sobre el loco de las setas. Una historia en sí misma*, [traducción de Isabel García Adánez], Madrid, Alianza, 2019, 176 p.
2014. *Confluencias. Antología de la mejor narrativa alemana actual* [Peter Handke, Wilhelm Genazino], [traducción de Cecilia Dreytmüller y Richard Gross], Barcelona, Alpha Decay, 2014, 356 p.
2017. *La ladrona de fruta. Viaje de ida al interior del país*, [traducción de Anna Montané], Madrid, Alianza, 2020, 388 p.
2019. *Hasta que el día os separe o Una cuestión de luz*, [traducción de Fruela Fernández Iglesias], Madrid, Casus Belli, 2019, 44 p.

■ Cine

El cielo sobre Berlín, [dirección Wim Wenders; producción Wim Wenders y Anatole Dauman; guión Wim Wenders y Peter Handke], L'Hospitalet, Filmax, 2003.

Premio Nobel de la Paz 2019

ABIY AHMED ALI POR SUS ESFUERZOS PARA LOGRAR LA PAZ CON ERITREA



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
María Cascales Angosto
José Miguel Ortiz Melón

El Comité Noruego del Nobel ha otorgado el Premio Nobel de la Paz 2019 al primer ministro de Etiopía, Abiy Ahmed Ali, por “sus esfuerzos para alcanzar la paz y cooperación internacional con la vecina Eritrea y, en particular, por su decisiva iniciativa para resolver el conflicto entre ambos países”.

Este año, el Comité Noruego del Nobel, formado por cinco miembros elegidos por el Parlamento del país, ha premiado los esfuerzos del político africano para acabar con uno de los conflictos más enquistados en África oriental, siguiendo lo que expresaba Alfred Nobel en su testamento: que el Nobel de la Paz “debía reconocer a quienes hubieran contribuido en el último año a la eliminación o reducción de armamento, al hermanamiento de los pueblos y contribuir a la paz”.

A pesar de que algunos pensaban que las opciones de Abiy Ahmed para alcanzar este prestigioso galardón se habían visto reducidas por el incremento en esta región de la violencia étnica y los miles de desplazados en este último año, al final lo ha conseguido por sus esfuerzos para lograr la paz con Eritrea.

■ ¿Quién es Abiy Ahmed?

Proveniente de una familia humilde, hijo de padre musulmán y madre cristiana, Abiy Ahmed Ali, nació en Beshasha, Kaffa, en 1976. Es ingeniero informático, de ahí su obsesión por la modernización tecnológica de su país. Ha sido militar profesional, y ha combatido contra la dictadura marxista de Mengistu Haile Mariam. Después, fue destinado a la fuerza multinacional en la Ruanda post-genocidio, donde aprendió mucho sobre la resolución de conflictos enquistados. De vuelta a su país y a su ciudad natal, Beshasha, se encontró con un conflicto religioso entre musulmanes y cristianos que dejó muchos muertos y que se frenó gracias a su labor de mediación.

En Addis Abeba, Abiy Ahmed presentó una tesis en el Instituto de Estudios de la Paz, sobre “El capital social y su papel en la resolución de conflictos tradicionales en Etiopía”. Esta tesis, que no es un documento académico, es una hoja de ruta para casos de choques reales en momentos delicados, que aplicó a dos pueblos: oromos y amharas que se levantaban a veces de manera violenta contra el Gobierno por la apropiación de tierras.



Aunque el mayor logro de Abiy Ahmed es haber terminado con una de las guerras más largas y sangrientas con la vecina Eritrea, el conflicto no se ha cerrado del todo. La guerra comenzó en 1998 y acabó en junio del año 2000 con más de 70.000 muertos y enormes bolsas de población hambrienta. La frontera entre los dos países, que antes eran solo uno, es una de las más conflictivas del planeta. Aunque con anterioridad se habían hecho intentos de alto el fuego, ha sido Ahmed Ali quien

ha conseguido una paz duradera que ha sido respetada por los dos países. Gracias a ello, por ejemplo, la aerolínea Ethiopian Airlines, ha comenzado a funcionar de nuevo entre Addis Abeba y Asmara, y se ha restablecido la línea telefónica para que familiares que no tenían contacto desde hacía tres décadas pudieran comunicarse de nuevo. No ha sido fácil llegar a acuerdos con la dictadura de Isaias Afwerki en Eritrea, pero Ahmed Ali lo consiguió.

Desde que comenzó su andadura como primer ministro en 2018, Ahmed Ali ha intervenido también en otros conflictos en la zona, de difícil solución. Así, por ejemplo, desde que se fundó el país en 2011 y volvió a la guerra civil entre facciones en 2013, Sudán del Sur no ha dejado de desangrarse. Ahmed Ali ofreció Addis Abeba como el lugar apropiado para dialogar y firmar acuerdos de paz. Por desgracia, los llamados “señores de la guerra”, de Sudán del Sur, no han mantenido los compromisos y, hasta el momento, tanto el presidente Salva Kiir como su vicepresidente Riek Machar han incumplido lo firmado en Etiopía una y otra vez.

El aperturismo de Abiy Ahmed ha alcanzado también a los derechos de la mujer. Cuando eligió su gabinete de gobierno, la mitad de las ministras fueron mujeres, y en noviembre de 2018 nombró a la abogada pro derechos humanos Meaza Ashenafi como la primera mujer en liderar la Corte Suprema del país. Ahmed Ali apoyó también la elección de la primera Presidenta de la República, Sahle-Work Zewde, con el objeto de promover la participación de la mujer en la política etíope, tradicionalmente reservada a los hombres.



Etiopía hace historia al nombrar presidenta a una mujer por primera vez.

Su revolución también es reformista en lo económico. No es fácil desmontar el monopolio industrial del Estado Etíope que el Gobierno marxista había impuesto en el país, y conseguir que Addis Abeba sea una de las capitales más dinámicas de África. Su gran desafío, en la actualidad, es luchar contra la enorme desigualdad que afecta a la mayoría de la población.



Imagen de archivo de los presidentes de Etiopía y Eritrea tras alcanzar un acuerdo para la paz (Mulugeta Ayene / AP).

Tras conocerse la decisión, anunciada en Oslo (Noruega), la Oficina del Primer Ministro de Etiopía ha celebrado el galardón y ha emitido el siguiente comunicado: “Estamos orgullosos, como país, de esta distinción a uno de sus ciudadanos más ilustres... Desde que el primer ministro Abiy Ahmed asumió el liderazgo político de Etiopía, en abril de 2018, ha hecho de la paz, el perdón y la reconciliación en Etiopía y en las regiones del este y noreste de África, elementos clave de su administración”.

Con 43 años, es probablemente el líder político con una trayectoria más notoria del país. Cuenta con un doctorado, experiencia militar y la creación de la Agencia de Seguridad de Redes de Información (INSA), servicio de inteligencia del país africano.

Entre sus primeras medidas, tras acceder al cargo en abril de 2018, Abiy Ahmed levantó la etiqueta de “grupo terrorista” a los grandes partidos de la oposición, sacó de la cárcel a miles de prisioneros políticos del gobierno anterior,



የኢትዮጵያ ፌዴራላዊ ዲሞክራሲያዊ ሪፐብሊክ
የጠቅላይ ሚኒስትር ጽሕፈት ቤት
Federal Democratic Republic of Ethiopia
OFFICE OF THE PRIME MINISTER

October 11, 2019
Addis Ababa
Press Release

The Office of the Prime Minister is pleased express our pride in the selection of Prime Minister Abiy Ahmed as the 2019 Nobel Peace Prize Laureate. This recognition is a timeless testimony to the MEDEMER ideals of unity, cooperation and mutual coexistence that the Prime Minister has been consistently championing.

Since Prime Minister Abiy Ahmed assumed political leadership in April 2018, he has made peace, forgiveness and reconciliation key policy components of his administration. At the national level, the release of tens of thousands of political prisoners, granting of amnesty for media entities and political parties charged under the anti-terrorism law to return from exile and engage peacefully; widening the space for political parties; facilitating reconciliation between rival groups, including religious groups and setting up of the peace and reconciliation commission, are some notable milestones.

At the regional level, ending the two-decade stalemate between Ethiopia and Eritrea has opened up a new dimension of possibilities for cooperation between the two countries. The ceasing of political hostilities has enabled families and friends long divided across a border to take advantage of the peace dividends. The steps taken to mend the broken relations between the two countries has been critical to regional stability, permeating relations among Horn region countries with the potential for growth through cooperation. Prime Minister Abiy Ahmed has been championing regional stability and integration in the spirit of MEDEMER. These efforts are bearing fruit and have manifested in stable transitions of power in the Sudan. Furthermore, the Prime Minister has also been making efforts to reconcile differences among Horn region countries with a commitment to a shared future.

Today, as the world takes note and celebrates his achievements through bestowing the Nobel Peace Prize, we invite all Ethiopians and friends of Ethiopia to continue standing on the side of peace. This victory and recognition is a collective win for Ethiopians, and a call to strengthen our resolve in making Ethiopia - the New Horizon of Hope - a prosperous nation for all.

//

ኢትዮጵያ፡ አዲሲቷ የተስፋ አድማስ

Ethiopia: A New Horizon of Hope

acabó con la censura a los medios de comunicación y emprendió reformas para modernizar un sistema económico, mediante la liberalización de parte de algunas empresas estatales.

Pero su gran éxito inesperado, fue la firma de la paz con la vecina Eritrea. En poco tiempo, tras jurar el cargo como primer ministro, Abiy firmó, en julio de

2018, con el presidente de Eritrea Isaias Afwerki, una “declaración de paz y de amistad” donde figura que “el estado de guerra ha acabado”. Así, ponían fin a un conflicto de 20 años que se había cobrado miles de vidas. El primer ministro etíope, Abiy Ahmed, y el presidente de Eritrea, Isaias Afwerki, asistieron a la ceremonia de reapertura de la embajada de Eritrea, en Addís Abeba, en julio de 2018.

El Comité noruego, en su discurso de anuncio del Nobel 2019, señaló que “el presidente de Eritrea aceptó los principios para un acuerdo de paz y el estancado punto muerto de ‘no paz, no guerra’”.

“Este reconocimiento es un testimonio eterno a los ideales del Medemer (palabra que en el idioma amárico significa “permanecer juntos” o “sinergia”) de **unidad, cooperación y coexistencia mutua** que el primer ministro ha liderado permanentemente”.

■ Guerra entre Etiopía y Eritrea

Eritrea y Etiopía fueron un solo país llamado la Federación de Etiopía, entre 1952 y 1993.

En 1993, Eritrea se independizó después de un sinnúmero de tensiones y transiciones políticas en Etiopía. Durante los años inmediatamente siguientes, los dos países mantuvieron estrechas relaciones económicas, ya que Etiopía depende de Eritrea para tener acceso al Mar Rojo. En 1998 una disputa fronteriza entre ambos países llevó a una violenta confrontación. A pesar de que después no tuvieron lugar mayores combates entre Etiopía y Eritrea, desde principios de los años 2000 los dos gobiernos se han mantenido en estado de alerta y desconfianza y se suspendieron las relaciones comerciales y diplomáticas entre las dos capitales, Asmara y Addis Abeba.

La guerra entre Etiopía y Eritrea se inició en mayo de 1998 y duró poco más de dos años, hasta junio de 2000. Desde 1962 –cuando los ingleses abandonaron la región tras expulsar a los italianos– Eritrea había luchado por independizarse de Etiopía, hasta que en 1991 se celebró un referéndum que condujo a una separación pacífica en 1993. No obstante, el acuerdo entre ambas partes no fijaba la demarcación definitiva de la frontera compartida, lo que generó que, después de serias discrepancias sobre las fronteras, el 6 de mayo de 1998 las tropas eritreas



ocuparan y anexionaran la región de Badme. Esto condujo a enfrentamientos que sirvieron para que Eritrea acusara a Etiopía del asesinato de varios funcionarios e invadiera con un gran número de fuerzas a su vecino. Etiopía declaró la guerra y movilizó a su ejército con el fin de contraatacar. Tras una serie de acciones de las fuerzas aéreas, en febrero de 1999, Etiopía lanzó una ofensiva que le permitió recuperar la ciudad de Badme, que había sido tomada desde el inicio por los eritreos.

El gobierno etíope decidió expulsar hacia Eritrea a 77.000 civiles eritreos y etíopes de origen eritreo, creándose un grave problema de refugiados. Las economías de ambos países, hasta entonces muy enlazadas, se resintieron y la guerra llevó a ambas naciones a endeudarse para la compra de material bélico, lo cual generó graves problemas económicos. Como Etiopía y Eritrea estaban íntimamente ligadas en términos históricos, culturales y hasta familiares, muchas familias se vieron físicamente divididas.

En mayo de 2000, Etiopía lanzó una ofensiva que rompió las líneas de defensa eritreas entre Shambuko y Mendefera, ocupando un cuarto del territorio enemigo, destruyendo buena parte de las infraestructuras y causando el desplazamiento de 650.000 personas hacia el interior. La situación provocó la petición de alto el fuego por Eritrea.

En diciembre de 2000, los contendientes convinieron un acuerdo de paz y un arbitraje obligatorio de sus conflictos según los términos del acuerdo previo de Argel, y se fijó una zona temporal de seguridad de 25 kilómetros, desmilitarizada, dentro de Eritrea, ocupada por cascos azules de Naciones Unidas.

El arbitraje vinculante estableció que la ciudad de Badme perteneciera a Eritrea, con una inicial reticencia por parte etíope que finalmente aceptó, aunque posteriormente no aplicó. En febrero de 2005, las fuerzas mecanizadas etíopes se posicionaron muy cerca de la frontera lo que aumentó el nivel de acusaciones mutuas entre ambas partes. A finales de 2005, una comisión del Tribunal Permanente de Arbitraje de La Haya estableció que Eritrea había infringido la Ley Internacional al atacar a Etiopía.

■ “Ni paz, ni guerra”

Aunque el acuerdo de paz de 2000 puso fin, oficialmente, a la guerra fronteriza, no se llevó a cabo completamente por ninguna de las dos partes. Desde entonces, Etiopía y Eritrea se mantuvieron en un estado de “ni guerra, ni paz”. En 2006, la comisión de límites otorgó a los países un año para implementar el veredicto. Pero la iniciativa fracasó y, dos años después, la ONU finalizó la misión de mantenimiento de la paz sin una frontera bien establecida.

Tras cuatro años de tensa calma, Etiopía atacó posiciones dentro de Eritrea contra “grupos subversivos”.

En 2016, un nuevo choque fronterizo enfrentó a ambas naciones en una serie de ataques con artillería de mediano y largo alcance, que resultaron en la fugaz batalla de Tsnonoma, causando la muerte de entre 200 y 300 etíopes, según anunció Eritrea.

■ Intervención de Abiy Ahmed

El 8 de julio de 2018, Abiy Ahmed Ali viajó a Asmara, donde se reunió con el Presidente Isaias Afwerki, de 72 años de edad, quien ha dirigido Eritrea desde su independencia en 1993. Ambos dirigentes acordaron establecer puentes entre los dos países, dejando atrás las diferencias del pasado. A los pocos días, el 14 de julio, el Presidente Afewerki aterrizó en Addis Abeba por primera vez en veinte años.

El acercamiento entre Etiopía y Eritrea presenta un sinnúmero de retos y oportunidades. Principalmente, porque Etiopía es uno de los países más poblados de África y del mundo, con un total de más de cien millones de habitantes. Ahora los gobiernos buscan restablecer embajadas en la capital de sus vecinos respectivos, y abordar la delimitación de una frontera definitiva y mutuamente reconocida.

Durante esta visita histórica, ambos dirigentes pusieron de manifiesto su voluntad de establecer puentes entre los dos países, dejando atrás las diferencias del pasado. Así, Eritrea y Etiopía firmaron una declaración conjunta que estipulaba que los dos países ya no estaban en guerra.

El documento confirmó la reanudación del comercio, los transportes y las telecomunicaciones, el restablecimiento de las relaciones diplomáticas y la puesta en práctica del acuerdo de paz de 2000 firmado en Argel.

■ Discursos y entrega del Premio

La ceremonia de entrega del Premio Nobel de la Paz se inició en Oslo el 10 de diciembre de 2019, con el Discurso Berit Reiss-Andersen, Presidenta del Comité Nobel de Noruega, que se reproduce a continuación:

Sus Majestades, Sus Altezas Reales, Distinguidos Representantes del Premio Nobel de la Paz, Sus Excelencias, Distinguidos Invitados, Damas y Caballeros,

El Comité Nobel noruego otorgó el Premio Nobel de la Paz 2019 al primer ministro etíope, Abiy Ahmed.

Primer Ministro Abiy, el premio otorgado a usted hoy, se basa en tres logros principales. Primero, su papel crucial en la creación de paz entre Eritrea y Etiopía.



Berit Reiss-Andersen, dirige el Comité Nobel de Noruega.

En segundo lugar, sus esfuerzos por construir la democracia en Etiopía mediante el fortalecimiento de las libertades civiles y el desarrollo de las instituciones. Y tercero, pero no menos importante, se le otorga el premio por su contribución a los procesos de paz y reconciliación en África oriental y nororiental...

... Las disputas fronterizas se han resuelto y las líneas de demarcación se han establecido de acuerdo con el fallo de arbitraje de una comisión internacional de fronteras en 2002. Se han restablecido las relaciones políticas y diplomáticas. Sin embargo, queda mucho trabajo para implementar plenamente todas las intenciones de los acuerdos de paz. Varios cruces fronterizos importantes permanecen cerrados, y los pueblos de Eritrea y Etiopía, por lo tanto, tienen acceso limitado entre sí. Los acuerdos de paz también incorporan ambiciones de desarrollo social, cultural y económico. En la actualidad, este trabajo parece estar parado. Es la esperanza del Comité Nobel noruego que sus logros anteriores, junto con el estímulo adicional del Premio de la Paz, estimulen a las partes a una mayor implementación de los tratados de paz.

Dr. Abiy Ahmed, usted fue nombrado Primer Ministro en un país que enfrenta una multitud de desafíos. Las divisiones regionales y étnicas han resultado en aproximadamente tres millones de desplazados internos. Estas personas no tienen hogar en su propio país y necesitan desesperadamente regresar a sus comunidades.

des. También se enfrenta a las tareas desalentadoras de estimular el desarrollo económico, combatir el desempleo y mejorar la educación, la atención médica y la infraestructura.

Todas estas tareas son elementos fundamentales en el proceso de construcción de la paz. El concepto de paz debe incorporar la justicia social y la mejora material que beneficiarán a todas las personas. Durante sus primeros 100 días como Primer Ministro, tomó varias iniciativas firmes para promover la paz y la reforma democrática en su país. ... Fue especialmente relevante designar a mujeres para ocupar el 50 por ciento de los puestos ministeriales en su gabinete...

... Señor primer ministro, levantar el estado de emergencia existente era urgente para usted. Usted otorgó la amnistía a miles de presos políticos, reconociendo así que la oposición es parte de un ambiente político saludable. Sabiendo que la libertad de expresión es una piedra angular de la democracia, abolió la censura pública y, por lo tanto, permitió el desarrollo de una prensa libre e independiente. Ha fortalecido a la sociedad civil al adoptar una postura firme contra la corrupción y el soborno en el sector público. Usted ha declarado su compromiso de celebrar elecciones libres y democráticas, que son requisitos previos para una verdadera democracia. El Comité Nobel noruego le respalda y apoya sus esfuerzos por una sociedad democrática y pacífica...

... Usted ha demostrado que entiende que la paz entre los vecinos es esencial en una región problemática. Usted ha hecho causa común con todos los interesados de Eritrea, Djibouti, Sudán, Sudán del Sur y Kenia que han participado en la promoción de la mediación y la resolución pacífica. Usted representa una nueva generación de líderes africanos que se dan cuenta de que los conflictos armados y las hostilidades étnicas deben resolverse por medios pacíficos. El Premio de la Paz de este año es un reconocimiento de todos los esfuerzos realizados por todas las naciones e individuos involucrados.

Dicen que las buenas noticias rara vez llegan del Cuerno de África.

Históricamente, las buenas noticias vinieron de África. Etiopía es la cuna de la humanidad. Los primeros Homo sapiens emigraron del territorio de su país. En este sentido, todos somos etíopes. Su país tiene una historia única también dentro de un contexto africano, ya que nunca fue colonizado por ninguna potencia

occidental. Es en parte, por esta misma razón, que Etiopía es el hogar de la Unión Africana...

... El primer africano en recibir el Premio Nobel de la Paz, Albert Luthuli, expresó elocuentemente la visión del Premio de la Paz en su discurso de aceptación aquí en Oslo, el 10 de diciembre de 1961. Hablando como ministro de la iglesia poco antes de las vacaciones de Navidad, dijo: "Que llegue el día pronto, cuando la gente del mundo se levante, y juntos eliminen efectivamente cualquier amenaza a la paz en cualquier parte del mundo que se encuentre. Cuando llegue ese día, habrá "paz en la tierra y buena voluntad entre los hombres", como lo anunciaron los ángeles..."

La visión de Albert Luthuli probablemente excedió incluso la imaginación de Alfred Nobel. Pero podemos usarlo como ideal e inspiración para crear más justicia, más fraternidad y más paz. Si queremos lograr ese objetivo, debemos ponernos a trabajar. Ese es exactamente el trabajo que asumió, Sr. Primer Ministro.

Gracias.

Una vez terminado su discurso, la Presidenta del Comité Noruego del Nobel, hizo entrega a Abiy Ahmed del diploma, la Medalla Nobel y la dotación económica correspondiente.

Después de un concierto de música etíope, Abiy Ahmed pronunció su discurso y aceptó formalmente el Premio Nobel de la Paz en nombre de muchos otros, incluido el líder de Eritrea, acreditado por aceptar la mano extendida de Abiy. En su discurso, Abiy habló de los horrores de la guerra con Eritrea que experimentó de primera mano cuando era joven en la década de 1990.

Reproducimos a continuación algunos párrafos del importante y extenso discurso:

*Majestades, Altezas Reales,
Distinguidos miembros del Comité Noruego del Nobel,
Ciudadanos Etíopes, Ciudadanos Africanos, Ciudadanos del Mundo
Señoras y Señores,*



La Presidenta del Comité Noruego del Nobel, hace entrega a Abiy Ahmed del diploma, la Medalla Nobel y la dotación económica del Premio.



Estoy honrado de estar aquí con ustedes, y agradezco profundamente al Comité Noruego del Nobel por reconocer y estimular mi contribución a la resolución de las disputas fronterizas entre Etiopía y Eritrea.

Acepto este galardón en nombre de los etíopes y eritreos, especialmente de aquellos que hicieron un último sacrificio en la causa de la paz. De la misma manera, acepto este premio en nombre del Presidente Isaiás Afwerki, cuya buena voluntad, confianza y compromiso han sido vitales para finalizar los veinte años de guerra entre nuestros países. También acepto este premio en nombre de los



africanos y ciudadanos del mundo para quienes el sueño de la paz se ha vuelto a menudo en la pesadilla de la guerra...

... Yo era un joven soldado cuando la guerra se desencadenó entre Etiopía y Eritrea. Presencié de primera mano lo peligroso de la guerra en las batallas fronterizas.

Aquellos que nunca han sufrido la guerra, la glorifican porque no han sentido el miedo, no han sufrido la fatiga, no han visto la destrucción o el desgarró. Ellos no han sentido el triste vacío de la guerra...

... Durante la guerra entre Etiopía y Eritrea, miles de soldados y civiles perdieron sus vidas. Las secuelas de la guerra también dejaron un incalculable número de familias rotas, y también comunidades completamente destrozadas a ambos lados...

... En junio de 2000, después del conflicto armado, Etiopía y Eritrea permanecieron durante dos décadas en un punto muerto, de “no guerra no paz”. Durante este periodo las unidades familiares fueron separadas a uno y otro lado de la frontera, incapaces de verse y hablar. Decenas de miles de soldados permanecían

estacionados a lo largo de ambos lados de la frontera, y nos preocupaba que cualquier pequeño enfrentamiento pudiera desencadenar un nuevo brote de guerra. La guerra y el punto muerto posterior eran una amenaza para la paz regional, con peligro de que una reanudación del combate activo entre Etiopía y Eritrea desestabilizara la región.

Cuando yo llegué a primer ministro, hace 18 meses, sentí en mi corazón que era necesario poner fin a esta incertidumbre. Yo creía que la paz entre Etiopía y Eritrea estaba al alcance y estaba convencido que el muro imaginario que durante tanto tiempo separaba nuestros dos países, necesitaba ser eliminado y en su lugar construir un puente de paz, amistad, colaboración y buenos sentimientos...

... Hoy ya estamos recogiendo los beneficios de la paz. Las familias separadas durante dos décadas están ahora unidas. Las relaciones diplomáticas se han restablecido. Los servicios aéreos y de telecomunicación también...

... Por último, la paz requiere una visión de paz y resistencia. Y mi visión de paz tiene sus raíces en la filosofía del “Medemer”.

Medemer, palabra Amarica que significa sinergismo, convergencia y trabajo en equipo para un destino común. Medemer, una palabra originaria de la lengua etíope que alude a la convivencia y la unidad basadas en el amor y el perdón.

Medemer es una idea originaria de la lengua etíope que se refleja en nuestra política social y económica, para construir una sociedad humana igualitaria y democrática proyectando juntos nuestros recursos para la supervivencia y prosperidad colectivas...

Excelencias, Señoras y Señores,

Yo vengo de una ciudad pequeña llamada Beshasha, localizada en la región de Oromia al oeste de Etiopía. Es en Beshasha donde las semillas de Medemer han empezado a germinar.

Medemer resuena con el proverbio “yo soy el guardián de mi hermano. Yo soy el guardián de mi hermana”.

En mi pequeña ciudad no tenemos agua corriente, electricidad o calles pavimentadas. Pero tenemos mucho amor para iluminar nuestras vidas. Nosotros somos guardianes unos de los otros.

Fe, humildad, integridad, paciencia, gratitud, tenacidad y cooperación...

... El cuerno de África es hoy una región de gran valor estratégico.

Las potencias mundiales están aumentando su presencia militar en la zona. Hay grupos terroristas y extremistas que también están tratando de hacer incursiones. No queremos que el Cuerno de África se convierta en campo de batalla para las superpotencias ni escondite para los mercaderes de terror ni para los emisarios de desesperación y miseria.

Queremos que el Cuerno de África se convierta en un tesoro de paz y progreso....

Excelencias, señoras y señores:

Hay que pagar un gran precio para conseguir la paz.

La violación de los derechos humanos ha sido la fuente de luchas y conflictos en el mundo. Lo mismo ocurre en nuestro continente, África.

Se estima que el 70 por ciento de la población de África tiene menos de 30 años. Nuestros jóvenes claman por la justicia económica y social. Ellos piden igualdad de oportunidades y el fin de la corrupción organizada...

... El arte de construir la paz es un proceso sinérgico que no debe cesar, para cambiar corazones, mentes, creencias y actitudes...

... Antes de que podamos recolectar los dividendos de la paz tenemos que plantar las semillas del amor, del olvido y reconciliación en los corazones y las mentes de nuestros ciudadanos. Tenemos que quitar las malas yerbas de la discordia, del odio y la incomprensión y trabajar duro durante los días buenos y malos.

Me inspiro en las escrituras bíblicas que dicen:

“Bienaventurados los que buscan la paz, porque ellos serán llamados hijos de Dios”.

Igualmente cito el Santo Corán cuando dice:

“La Humanidad es una simple hermandad. Así que haz la paz con tu hermano”...

...Y termino llamando a la comunidad internacional a unirse conmigo y con mis hermanos etíopes en nuestro Medemer de inspirados esfuerzos de construir una paz duradera y prosperidad en el Cuerno de África.

Gracias!

El final de este espléndido discurso es también, sin duda, la mejor y más lúcida forma de concluir este capítulo.



La reina Sonia de Noruega junto al primer ministro de Etiopía y Premio Nobel de la Paz, Abiy Ahmed Ali, el rey Harald V de Noruega, el príncipe heredero Haakon de Noruega y la princesa heredera Mette-Marit de Noruega, en el Palacio Real de Oslo en diciembre de 2019. / Getty Images.

Premio Nobel de Economía 2019

ABHIJIT BANERJEE, ESTHER DUFLO Y MICHAEL KREMER POR SUS ANÁLISIS SOBRE LA POBREZA EN EL MUNDO



El anverso de la medalla del Premio Nobel de Economía, muestra el rostro de Alfred Nobel, en una pose distinta a la de las medallas de otras categorías, rodeado de las palabras: *Sveriges Riksbank till Alfred Nobels Minne 1968*. La mitad inferior muestra los cuernos de la abundancia cruzados. Este diseño la distingue de las medallas de las otras cinco categorías establecidas a través del testamento de Alfred Nobel en 1895. El reverso de la medalla del Banco Central de Suecia en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel, muestra la estrella boreal, el emblema de la Real Academia Sueca de Ciencias, y las palabras *Kungliga Vetenskaps Akademi* inscrita en el canto de la medalla. El nombre del Laureado al Premio Nobel de Economía está inscrito en el canto de la medalla. Diseño Gunvor Svensson-Lundqvist.

Rafael Morales-Arce Macías

■ Introducción

La Real Academia de Ciencias de Suecia, institución fundada en 1739, es una organización independiente que tiene como objetivo general la promoción de las ciencias y el fortalecimiento de su influencia en la sociedad, con una responsabilidad especial en las ciencias naturales y las matemáticas, pero esforzándose por promover el intercambio de ideas entre diversas disciplinas del saber, acordó el pasado 14 de octubre de 2019 la concesión del Premio Nobel de Economía a los investigadores Abhijit Banerjee; Esther Duflo y Michael Kremer, en atención a la calidad de sus análisis sobre la pobreza en el mundo.

El Premio, cuya denominación precisa es Sveriges Riksbank en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel, no figuraba en el catálogo de los primeros concedidos por esta institución. Se ha otorgado a partir de 1969 hasta en 51 ocasiones, y lo han recibido un total de 84 personas diferentes: 7 veces a 3 personas; 19 veces a 2 personas y 25 veces a una sola.

El Premio tiene una dotación de nueve millones de coronas, a cargo de la institución financiera sueca.

■ La posición de la Real Academia de Ciencias de Suecia

La decisión de la Academia se basa en el enfoque experimental que los galardonados han introducido en sus investigaciones sobre el modo de combatir la pobreza en el mundo. Como decíamos, la investigación llevada a cabo por los laureados de este año ha mejorado considerablemente nuestra capacidad para luchar contra la pobreza mundial. En solo dos décadas, su nuevo enfoque, basado en experimentos, ha transformado la economía del desarrollo, que ahora es un floreciente campo de investigación. A pesar de las recientes mejoras, uno de los problemas más urgentes de la humanidad es la reducción de la pobreza mundial, en todas sus formas. Más de 700 millones de personas siguen subsistiendo con ingresos extremadamente bajos. Cada año, alrededor de cinco millones de niños menores de cinco años siguen muriendo de enfermedades que a menudo podrían haberse evitado o curado con tratamientos baratos. La mitad de los niños del mundo siguen abandonando la escuela sin conocimientos básicos de alfabetización y aritmética.

Los laureados de este año han introducido un nuevo enfoque para obtener respuestas confiables sobre las mejores maneras de combatir la pobreza global. Ello implica dividir este problema en preguntas más pequeñas y manejables, por ejemplo, las intervenciones más eficaces que pueden mejorar los resultados educativos, o la salud infantil. Han demostrado que, con preguntas más pequeñas y precisas, se responde mejor a los experimentos cuidadosamente diseñados entre las personas más afectadas. A mediados de la década de 1990, **Michael Kremer** y sus colegas demostraron, a través de pruebas de campo, lo poderoso de este enfoque, que mejorarían los resultados escolares en el oeste de Kenia. **Abhijit Banerjee y Esther Duflo**, a menudo con Michael Kremer, pronto realizaron estudios similares sobre otros temas y en otros países. Sus métodos experimentales de investigación ahora dominan por completo la economía del desarrollo.

Como resultado directo de uno de sus estudios, más de cinco millones de niños y niñas se han beneficiado de programas eficaces de tutoría correctiva en las escuelas. Otro ejemplo son los fuertes subsidios para la atención sanitaria preventiva que se han introducido en muchos países. Estos son solo dos ejemplos de cómo esta nueva investigación ha ayudado a aliviar la pobreza mundial. También tiene un gran potencial para mejorar aún más las vidas de las personas más “desahuciadas” del mundo. (1)

■ Los galardonados



La Academia ha distinguido, en esta ocasión, a los investigadores ABHIJIT BANERJEE ciudadano indio, nacido en 1961 en Mumbai, doctorado en 1988 por la Universidad de Harvard, Cambridge, Estados Unidos, y profesor de Economía de la Fundación Ford en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, sito en la misma ciudad.

A ESTHER DUFLO, ciudadana francesa, nacida en París en 1972. Igualmente, doctorada en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1979.

Y finalmente, a MICHAEL KREMER, nacido en 1964, doctorado en 1992 por la Universidad de Harvard.

Desde los años noventa, tanto Kremer como sus colegas demostraron el poder del enfoque experimental para probar una variedad de métodos capaces de mejorar los resultados escolares en el oeste de Kenia, posteriormente extendidos a otros países, entre ellos la India.

Sus estudios hicieron posible que más de cinco millones de niños, en India, se beneficiaron de programas pedagógicos especiales en las escuelas. Banerjee y Duflo concluyeron que el apoyo a los niños con debilidad tiene fuertes efectos positivos, incluso a medio plazo.

En otros experimentos de campo, pusieron igualmente de manifiesto que la falta de incentivos claros y de la práctica de rendición de cuentas entre los profesores derivaba en un alto nivel de absentismo, por lo que sugirieron que la motivación al profesorado era contratarlos a plazos cortos, prorrogables solo en el caso que tuvieran buenos resultados.

Queremos destacar una de las últimas aportaciones de **Kremer**. Se trata de la entrevista celebrada en el Centro para el Desarrollo Global de Washington, pocos días después de conocer su nominación en el Nobel, en la que, entre otras cuestiones, aludió a aspectos de gran interés en el tema que nos ocupa:

- Constató que la economía mundial estaba creciendo, en la mayor parte del mundo a tasas del 2%-3% anual, “pero la gente se muere por falta de acceso al agua limpia. Tenemos una obligación moral porque hay gente que está sufriendo, e incluso, muriendo, y hay algo que podemos hacer al respecto: involucrarnos en la solución al problema”.
- Se mostró de acuerdo con el crecimiento económico, y ello es lo más importante a largo plazo, no hay duda de ello.
- Pero sin olvidar que hay medidas que pueden contribuir a mitigar los efectos nocivos que se generan: proteger los materiales que se utilizan, en especial, por las clases menos favorecidas; mejorar las infraestructuras para que se evite la contaminación en las fuentes generadoras de agua; igualmente, evitar que la contaminación se produzca en los hogares citados; evitar la venta de agua embotellada y, en su lugar, instalar en las fuentes públicas agentes descontaminantes, etc. Como vemos, medidas de gran simpleza, sencillas, que no exigen grandes inversiones, pero como en el caso de la salud infantil, el aprendizaje escolar y las campañas de vacunación, aseguran la generación de buenos resultados. (2)

■ La posición de tratadistas sobre el Premio

Alaudete, desde Washington, destacaba que los tres galardonados han basado sus investigaciones en el uso de un complejo modelo experimental para que los políticos dispongan de datos contrastados sobre el verdadero funcionamiento de sus políticas antipobreza. Para ello, han dividido el problema en pequeños apartados que puedan ser razonablemente manejados y, para ello, se centraron en la mejora del rendimiento educativo y la salud infantil.

En referencia directa a Duflo, destaca que la esencia de su investigación es asegurar que la lucha contra la pobreza se basa en pruebas científicas, y parte de la premisa de que muchas veces se caricaturiza a los pobres y a los que tienen que apoyarles, que no siempre comprenden la raíz del problema y porque presuponen que los pobres están desesperados, o son vagos o no son emprendedores.

Y los tres galardonados basan su enfoque en la combinación de varias materias: Medicina, Educación, Sociología y Métodos económicos, que son los que pueden motivar en la política de ayuda desde los Gobiernos.

Por otra parte, todos ellos sostienen que muchos de los programas públicos de ayuda a la pobreza no tienen un significativo efecto porque: a) Recaudar dinero y enviarlo para comprar libros para escuelas en África, no repercute considerablemente para que alcancen un futuro mejor; b) Como alternativa, sugieren adaptar los temarios escolares al perfil del alumnado; entrenar a profesorado preparado y seleccionado en función de los resultados que han obtenido, que se considera básico para su posterior contratación; y c) Critican la concesión de microcréditos, que no alteraron las tasas de pobreza en una ciudad india, Hyderabad, de siete millones de habitantes.

Finalmente, destacar que, hasta el Primer Ministro de India, Narendra Modi, así como otros líderes mundiales les han reconocido por sus notables contribuciones para el alivio de la pobreza. (3)

Aracil, en una breve nota destaca una de las muchas conclusiones de los trabajos de los galardonados: que en los países también hay pobres, a los que se denomina “pobres relativos”, porque disponen de una muy reducida proporción de la renta media del país en que viven.

Por otra parte, estima que la educación es un problema de máxima urgencia que subsiste en el siglo XXI, con carácter multidimensional que va mucho más allá de la ausencia de recursos.

Aracil destaca del trabajo de los premiados: a) Que huye de grandes soluciones y proyectos, al contrario, sugiriendo actuaciones concretas y específicas en cada una de las dimensiones del problema; b) Se preguntan cómo pueden vivir muchas personas con menos de un dólar al día. ¿Qué decisiones y renunciaciones tienen que abordar? O ¿a qué retos se enfrentan diariamente? ¿por qué no gastan más en nutrición, que tanto incrementaría su productividad? ¿por qué gastan en bienes de entretenimiento? ¿para emular a sus vecinos? ¿por qué los padres no valoran suficientemente la escasa calidad de las escuelas de sus hijos?; y c) Los galardonados demostraron que los “microcréditos” no sirven como instrumentos de reducción de la pobreza, ya que no estimulan la inversión ni el consumo, ni mejoran la salud y la educación y, tampoco, el empoderamiento de la mujer.

Nos recuerda, igualmente, cómo la Academia de Ciencias de Suecia enfatiza sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a los que valora como los más ambiciosos de la historia por polarizarse en: erradicar la pobreza, ofrecer una educación de calidad y perseguir la mejora de la salud y el bienestar. Todo ello con posibilidad de lograrse con colaboración y esfuerzo conjunto de entidades públicas y privadas, Organizaciones no gubernamentales (ONG), Medios de Comunicación, Universidades, etc., sin olvidar, por supuesto, que la Economía es, precisamente el estudio de la pobreza. (4)

Berton, desde Londres, nos recuerda la dura realidad: que los países ricos no se estén prodigando en la ayuda humanitaria, aunque su demanda aumente, y pone ejemplos de Estados Unidos, Alemania y Reino Unido, que en 2019 están dotando menor cantidad que en el ejercicio pasado: el primero, menos del 6% y los dos últimos con una reducción del 11%.

La Organización de Naciones Unidas había solicitado una aportación del orden de 28.300 millones de dólares, y para ello argumenta que más de 200 millones de personas requieren este tipo de ayuda.

Tan solo Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita incrementan sus aportaciones que, en el caso de Yemen, están más polarizadas en la reconstrucción del país por los efectos de la última guerra. (5)

Carbó, por su parte, destaca que el Premio haya sido sensible a la reducción de la pobreza, un reto descomunal y de incalculable importancia en un mundo con más de 700 millones de personas que viven en esas condiciones. Una obligación común porque la responsabilidad es siempre común y la Economía es global. Y,

de manera singular que se haya hecho a través de experimentos de campo, no siempre utilizados en el caso de la Economía. (6)

Sobre la galardonada Duflo, EFE nos recuerda que ahora cumple 47 años y que vivió el dulce momento del estudio de la Economía en Francia (en referencia a otro galardonado del Nobel, Jean Tirole y Thomas Piketty, autor de *“El capital en el siglo XXI”*), así como la recepción del Premio Príncipe de Asturias en Ciencias Sociales en el año 2015, o la medalla John Bates Clark en 2010, que reconocía al mejor economista, menor de 40 años, en Estados Unidos de América.

Duflo fue incluida por el expresidente USA, Barack Obama, en el Comité Presidencial para el Desarrollo en el año 2013, al considerar que sus trabajos eran el arma que pretendía promover las ideas para acabar con las desigualdades en el mundo. Su laboratorio JAMEEL POVERTY ACTION LAB, cuenta para ello con una red de 180 profesionales pertenecientes a 58 Universidades del mundo, cuya misión es “reducir la pobreza garantizando que las políticas públicas se basen en pruebas científicas”. La clave está en saber cómo hay que gastar el dinero, no cuánto. Su libro *“Repensar la pobreza”*, repensar la pobreza, se utiliza para teorizar sobre el divorcio de la Macroeconomía en favor de la aplicación de su tesis.

Duflo colaboró igualmente con el MIT, analizando la estructura y características del conjunto de seres humanos que viven con menos de un dólar al día, estudiando una serie de experiencias, elegidas al azar, para estudiar la eficiencia de las ayudas al desarrollo. Una de ellas, la oferta de un saco de lentejas a las familias de campesinos indios del Rajastan, que acudían a vacunar a sus hijos. Demostró que era muy eficaz, frente a la práctica habitual de dispensar ayudas sin verificar si funcionaban o no y, en cualquier caso, ¿por qué?

Duflo, en definitiva, está considerada como una de las economistas más influyentes de Francia, aunque su voz es más escuchada en Estados Unidos que en su país de origen. (7)

El periódico EL ECONOMISTA destaca que la Academia de Suecia haya valorado “un nuevo enfoque para obtener respuestas fiables sobre las mejores formas de combatir la pobreza mundial” que ha caracterizado los trabajos de Banerjee, Duflo y Kremer, y no solo de ellos, sino de investigadores que han seguido sus pasos, en especial, su tendencia a dividir los temas en términos más pequeños y manejables, más cercanos a las personas afectadas. (8)

Erlik, destaca la posición de la Academia al reconocer a investigadores que se distinguen por sus trabajos basados en aplicaciones prácticas, y no solo en modelos teóricos, de forma que su efectividad sea medible con mayor facilidad, en especial al orientarlas a la mejora del nivel educativo o las tasas de vacunación en los países, Kenia e India, en que desarrollaron sus experimentos. Sus trabajos, por otra parte, no se enfocan en la desigualdad o la redistribución de la riqueza, sino en ahondar en las causas primordiales de la pobreza y las acciones que puedan mitigarla en los lugares que la sufren y, todo ello, alejado de la introducción de la ideología en el análisis del problema.

Erlik destaca que Banerjee y Duflo constituyen la sexta pareja de la historia en la que ambos han obtenido un Nobel. Su obra *“Poor economics”* (“repensar la pobreza”) constituye una especie de “best seller” que acercó su trabajo al público en general. De Kremer considera su dedicación al estudio de incentivos que permiten incrementar la tasa de vacunaciones; el análisis de la transición demográfica que se observa en países en desarrollo, sin olvidar su intensa actividad filantrópica, dirigiendo o colaborando en muchos proyectos para erradicar la pobreza.

Y de los tres galardonados destaca la crítica que hacen que la solución a la pobreza viene contaminada habitualmente por la introducción de sesgos políticos e ideológicos en su perspectiva macroeconómica. De ahí su preferencia por iniciativas más centradas en los componentes microeconómicos que afectan a las zonas en las que estudian. Por tal razón descubrieron que los problemas de escasa productividad en los países considerados tienen su origen en las grandes desigualdades de esta magnitud en el propio país, a diferencia de lo que sucede en los países desarrollados, en los que el nivel de productividad de un mismo factor suele estar cercano al óptimo. Ponen el ejemplo del uso de maquinaria agrícola obsoleta conviviendo con otra más moderna, propia de los primeros, con la que se observa en los países desarrollados, en los que el uso generalizado de maquinaria moderna y el uso de fertilizantes permite obtener más alta y uniforme tasa de productividad.

También, y en relación al sector de la educación, criticaban que el escaso rendimiento escolar no se aseguraba facilitando solamente la comida al alumno, cuyo único efecto se polarizaba en la reducción del absentismo, mientras que facilitar los libros de texto; atender singularmente a los alumnos más retrasados en el proceso de aprendizaje, o hacer más eficiente la contratación o el desempeño del profesorado, mejoraba considerablemente el rendimiento de la mayor parte de los alumnos. Y todo ello era más importante que la simple contemplación de la baja ratio de alumno por profesor.

En el tema de la mejora de la salud, sus estudios criticaban la poca atención que las familias dispensan a cuestiones básicas como la vacunación o desparasitación de los niños, y no porque no hubiera acceso a estas campañas en algunos países, sino por el poco interés que los padres tenían en que se aplicaran a sus hijos. De ahí la importancia de incentivar fuertemente estas campañas masivas que tanta incidencia tenían en la mejora de la productividad. (9)

El diario económico EXPANSIÓN, destaca de los galardonados el uso de enfoques experimentales, evidencia científica y el uso de métodos de ensayo aleatorio para el estudio de la pobreza global. Polariza en Duflo su posición de abogar por la urgencia de la disposición de recursos económicos en favor de los países en desarrollo, sin olvidar la incapacidad de los grandes donantes para sensibilizar a los Gobiernos receptores para que no abandonen los proyectos de ayuda en los lugares en los que ocurre. (10)

Para **Ferruz**, los galardonados tenían en común la realización de análisis enfocados a reducir, a través de incentivos y políticas sociales, la pobreza en el mundo. Destaca, por otra parte, cómo han contribuido a mejorar las situaciones de pobreza, educación y salud en India, Kenya y otros países, en particular con la sugerencia de medidas preventivas que han podido evitar millones de muertes en la población infantil.

Considera muy acertado que la entidad financiera que apoya a los Premios haya fijado su objetivo en las investigaciones de especialistas que contribuyen a la solución de problemas reales que tiene planteados el conjunto de la humanidad, poniendo de manifiesto cómo la ciencia económica, con objetivos muy enraizados en la Ética y la Moral, se polariza en cuestiones no especulativas como son la eliminación de la pobreza, la justa administración de los recursos escasos, la creación y distribución de la riqueza, y todo ello, en pro de un mundo más justo, solidario y sostenible, en el que, entre otros, las personas galardonadas nos han marcado el camino. (11)

Garrigues, en una Tribuna Abierta, al referirse a los objetivos empresariales nos sugería, entre otras cuestiones, que hemos de iniciar un proceso de mejora de los denominados “índices de desigualdad”, ya fueren económicos, educativos, de género, tecnológicos o territoriales, y convencernos de que el futuro de la humanidad depende especialmente de la calidad ética de la ciudadanía y, en este sentido, el margen de mejora que tenemos es, verdaderamente, altísimo. La deriva hacia formas diversas de corrupción sigue siendo fuerte al igual que la resistencia a la

transparencia informativa, aunque ya empiezan a detectarse signos positivos de cambio que se irán concretando y materializando a corto y medio plazo”.

Estima, por otra parte, “que no hay ningún otro camino. El mundo empresarial tiene que aceptarlo, añadiendo que las consecuencias de malas prácticas empresariales tienen como resultado el aumento del populismo”. (12) Y todo ello, traído ahora a cuestión como consecuencia del comentario de las actividades de los galardonados con el Nobel de 2019, en los que la Academia de Ciencias de Suecia les ha reconocido por sus aproximaciones al alivio de los problemas de la pobreza global, aproximaciones que tan buen resultado están consiguiendo en los diversos entornos geográficos en que se han aplicado.

Por su parte, hasta el propio **Hayek**, famoso economista austriaco, sin referirse a los galardonados en esta ocasión, puesto que había fallecido varios años antes, decía que el Premio Nobel en ciencias económicas era algo dudoso por varias razones: a) No era un premio real que otorgaba la Fundación del Nobel, que ni financiaba ni pagaba a los ganadores. Se financiaba por el Banco de Suecia a las ciencias económicas en memoria de Alfred Nobel, habiendo sido creado por los banqueros centrales suecos con el propósito de mejorar la imagen científica de la Economía y la reputación de los economistas; b) Que confería a una persona una autoridad que en Economía ningún hombre tendría que poseer, como aseguraba en su discurso de aceptación del premio en el año 1974; c) Que el premio podría crear un sentido de certidumbre en torno a una ciencia, como la Economía, que es una ciencia social, y no debería incidir en el conjunto de la sociedad como si fuera una ciencia, similar, por ejemplo, a la Física; y d) Que consideraba que la Economía seguía siendo una disciplina que estudiaba seres humanos con todas sus fragilidades e irracionalidades. (13)

Por ello, uno de los aspectos básicos de la Teoría Económica tradicional, como es la formación de los precios de bienes y servicios, tiene su soporte fundamental en cinco parámetros: el precio del propio bien o servicio; el de los bienes complementarios o sustitutivos del mismo; el nivel de renta del consumidor, y, finalmente, el del nivel de sus gustos y preferencias. Este último estaría fuertemente ligado a lo que señalábamos en el punto d) del anterior párrafo.

Huerta de Soto, en la conferencia inaugural del XII Congreso de Economía Austriaca, analizó precisamente el proceso de “japonización” al que se acerca la Unión Europea, criticando que los estímulos monetarios y fiscales que vienen adoptándose en los últimos años nos conducirán al fracaso por no atacar los pro-

blemas de fondo de las economías en los principales países. Entiende que “el problema de fondo es la rigidez de la economía, el exceso de regulación, los elevados impuestos y el gasto público descontrolado, con la consiguiente desmoralización de la clase empresarial”. Añade que mientras sigan emitiéndose disposiciones reglamentarias, subiendo los impuestos y facilitando el dinero a tipos de interés muy bajos o negativos, “lo más fácil es quedarnos con el dinero y que inviertan los que quieran (es decir, muy pocos o nadie)”.

Por ello, el verdadero antídoto en estos momentos pasa por varias medidas de gran relevancia: “normalizar, cuanto antes, la política monetaria, y crear un marco que fuerce a los gobiernos a efectuar las dolorosas medidas de reforma estructural que necesitan nuestras economías... que beneficia a gobiernos manirrotos, tenedores de renta fija, hedge funds y especuladores, en grave perjuicio de la mayoría de los ciudadanos y, en especial, de los ahorradores...”. De ahí la conveniencia de que, “una vez normalizada la política monetaria, los gobiernos se vean obligados a controlar su gasto, introducir políticas de austeridad, impulsando medidas liberadoras que se interrumpieron o pospusieron y que hoy se necesitan como agua de mayo para recuperar, de una forma sostenible, nuestra prosperidad”. (14) Y ojalá que entre ellas estén incluidas las reformas en los campos de la salud, la escolaridad infantil, la formación profesional en las nuevas tecnologías, etc., que se están aplicando en los entornos menos favorecidos de varios países del mundo.

Maqueda considera que los tres galardonados han realizado contribuciones decisivas sobre las políticas e incentivos que deben aplicarse para solucionar los problemas de pobreza, pero que, a pesar de ello, mantenemos más de 700 millones de personas que subsisten en el mundo con escasos ingresos, sin olvidar que cada año fallecen 5 millones de niños a causa de enfermedades que no se han previsto ni tratado con medicamentos que no resultan tan caros.

Sostiene y destaca de ellos que sus investigaciones se extendieran a campos como la sanidad, el acceso al crédito y las nuevas técnicas agrícolas e inversiones en agua potable, vías claras de mejora de la rentabilidad en los países en desarrollo.

También que la dispensación a los niños de tratamientos antiparasitarios reduce el absentismo escolar. Y que debe superarse el absentismo de los profesores a través de mejoras en las fórmulas de contratación de estos, que pasan por compromisos de docencia de carácter temporal en función de los resultados obtenidos. (15)

Para el grupo formado por **Martínez Bravo, Sanz de Galdeano y Vera Hernández** se programó una sesión dedicada a los Premios Nobel de Economía 2019, destacando la estrategia experimental que habían desarrollado los galardonados en la lucha contra la pobreza. Todos ellos, con un amplio currículum académico y profesional, polarizado en temas con una estrecha relación con lo destacado en el Nobel de este año. La primera de ella, Martínez Bravo con investigaciones de interés acerca de las causas y consecuencias de las elecciones locales en regímenes no democráticos, así como sobre la consistencia de las decisiones de oferta laboral con preferencias neoclásicas y, finalmente, sobre las reformas políticas en China, en especial, los procesos electorales, la oferta de servicios públicos y la distribución de ingresos.

Sanz de Galdeano, por su parte, se centra igualmente en temas de gran contenido social, como el salario mínimo, los seguros de salud y la movilidad laboral, la rigidez salarial y las variaciones de precios en los países emergentes. Y Vera Hernández, finalmente, que analizó cuestiones relativas a los incentivos y recursos para mejorar la salud en las escuelas chinas; los efectos de la vacunación en las escuelas rurales de Kenia con sus efectos a largo plazo en la educación y el futuro laboral de los niños cuando acceden a la edad adulta. Como decíamos, todos ellos con una estrecha relación con los temas abordados por los galardonados. (16)

Palacios, por su parte, destaca que el Nobel haya reconocido en este año a una mujer, Esther Duflo, tras haberlo hecho hace diez años a Elinor Ostrom. Poca participación femenina en un galardón que acumula más de medio siglo de historia.

Llama su atención la calidad y atención a cuestiones tan sensibles como son la salud y la educación, con positiva incidencia en diferentes países y, particularmente, que más de cinco millones de niños residentes en India hayan visto mejorado su rendimiento escolar.

Destaca, igualmente, como tanto la Fundación española del BBVA, a través de su programa “Fronteras del Conocimiento”, como la Fundación Princesa de Asturias hayan concedido sus honores a Banerjee y Duflo recientemente. Y, por extensión, recuerda como Kremer, el tercer galardonado, profesor en Harvard, extiende sus investigaciones a asuntos vinculados al desarrollo de países de África y América Latina. (17)

Rey Biel, por su parte, considera que los motivos de alegría por este galardón son muchos, en especial por la concesión a Duflo, por ser una de las economistas

de la que más se ha hablado a partir de 2010, sin olvidar a sus dos colegas, que no solo han realizado una investigación con una fuerte contribución metodológica, la aplicación de los experimentos de campo en el área del desarrollo económico, sino porque su influencia ha ayudado no solo directamente al bienestar de los participantes en sus experimentos sino a la evaluación y a la aplicación práctica de políticas efectivas para el desarrollo económico y social. (18)

Pablo R. Suanzes, desde Bruselas, nos recuerda que, para la Academia de Suecia, los galardonados han demostrado que, a veces, para entender el conjunto, es bueno y necesario ver las partes que lo conforman, y para ello, debe proporcionarse a quienes toman decisiones políticas los medios que permitan elegir las medidas más eficaces para ayudar a los pobres a superar sus problemas. Esto fue puesto de manifiesto por Duflo con ocasión de la recepción del Premio Princesa de Asturias hace cuatro años.

Consideran los premiados que no hay una solución milagrosa para el problema de la pobreza; ni la ayuda exterior, la apertura de fronteras, la expansión del comercio internacional o la economía de mercado constituyen apoyos suficientes para resolverlo. Y tampoco que exista un organismo responsable de superar la situación, ya sean los organismos internacionales, gobiernos nacionales o locales, las élites, etc., para mantener a la población en situación de pobreza o sacarla de ella. La pobreza obedece a múltiples causas: ser pobre puede deberse a tener menos información; menos posibilidades de elegir su propia trayectoria o menos protección contra los errores propios.

Estima Suanzes que el premio es hoy un reconocimiento a un enfoque que cuenta con un amplio respaldo, respaldo que no encontraba por algunos teóricos de la Economía en tiempo pasado. Y todos los factores que deben superarse para reducir la pobreza no tienen una fácil solución, por lo que debe combatirse, con paciencia y deliberación, la realidad a que se enfrentan los pobres: malas escuelas; agua sucia; enfermedades infecciosas; los cambios climáticos y otros desastres naturales; la corrupción; la falta de suficientes conocimientos profesionales, etc. Las soluciones deben adaptarse a la realidad del lugar en que se actúa. A veces, lo que es válido en un territorio no lo es en otro. De ahí la importancia que tiene la cercanía física al lugar de la pobreza para que la propuesta de soluciones se adapte a lo que verdaderamente se necesita. (19)

Diego Sánchez de la Cruz, por su parte, entiende que el Nobel ha vuelto a priorizar la pobreza sobre la desigualdad, huyendo de la elaboración de grandes planes

contra la pobreza, descartando una institución, como los “microcréditos”, sin tener en cuenta la dispensa de incentivos económicos. Por otra parte, nos recuerda que ya en 2015, la Academia concedería el Nobel a Angus Deaton, que defendía que la salida de la pobreza generaba siempre la aparición de ciertas desigualdades, poniendo como ejemplo de ello el caso de China, en los que la pobreza se ha reducido en los últimos años de una forma exponencial, pero con mayores cotas de inequidad salarial que hace treinta años. Concluye, finalmente, que el foco de atención en estos temas debe ponerse en la eliminación de la pobreza, y no tanto en la desigualdad que siempre se genera en los ciclos de progreso. (20)

Hanna Ziad, escribió un breve comentario sobre los galardonados, destacando su satisfacción por la dedicación de los galardonados al alivio de la pobreza mundial, siendo pioneros en el uso del enfoque experimental, cuidadosamente diseñado, que buscaba respuestas confiables a preguntas específicas relacionadas con el fondo de sus investigaciones. (21)

Ojalá que el conjunto de estos comentarios, en muchos casos coincidentes y, en otros con alguna discrepancia minoritaria, sirvan para sensibilizar a la clase política y la generalidad de los ciudadanos a adoptar una posición positiva y realista ante este grave problema que afecta a amplias capas de la humanidad.

■ Los pronósticos no se cumplieron

Se recogen seguidamente algunas de las estimaciones que, antes de divulgarse la concesión del Nobel, hicieron algunos tratadistas e instituciones sobre los nombres y perfiles de los que, a su juicio, eran importantes candidatos. Aunque en esta ocasión no hubo acierto, deseamos que estos afamados investigadores sean considerados acreedores a un futuro reconocimiento.

Annie Torres, en primer lugar, sugirió como posibles candidatos a un español, Manuel **Arellano**, Profesor del Centro de Estudios Monetarios y Financieros, CEMFI, un economista que ha divulgado su estimador “Arellano-Stephen Bond”, utilizado en algunas investigaciones en la Universidad británica de Oxford. También a **Wesley M. Cohen**, que trabaja en la Duke University; y a **Daniel A. Levinthal**, de la Pennsylvania University, ambos especialistas en Economía de la Empresa, así como a **David M. Kreps**, especialista en Economía Dinámica, vinculado a la Universidad norteamericana de Stanford.

Clarivate Analytics (Thomson Reuters) que, igualmente, hace pronósticos sobre el tema sugería varios nombres: **W. Brian Arthur**, del Instituto Santa Fe de Nuevo México, investigador acerca de los rendimientos crecientes (efectos de red) en investigaciones económicas; **Ariel Rubinstein**, de la Escuela de Economía de la Universidad israelita de Tel-Aviv, que polariza sus trabajos en los denominados modelos de racionalidad limitada; así como **Soren Johansen y Katharina Juselius**, Profesores Eméritos de la Universidad de Copenhague, especialista en Econometría y análisis de cointegración. (22)

LT, por su parte, sugería igualmente a **Rubinstein**, en especial, por sus trabajos sobre modelos de negociación; **Alesina**, de Harvard, destacado por sus análisis sobre los ciclos políticos de los negocios, así como los efectos de los sistemas electorales alternativos en las políticas económicas y las uniones de divisas; y, finalmente, a Torsten Persson y Guido Tabellini, por sus investigaciones sobre Economía Política y, en particular sobre los efectos económicos de las Constituciones. (23)

■ La posición de España acorde a la estrategia del programa PNUD

Este programa de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) tiene una importante relación con el trabajo de los galardonados que venimos comentando.

El Gobierno de España, a través de su Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, dio publicidad a la Asociación Estratégica con dicho Programa en el Boletín Oficial del Estado.

Tal posición viene motivada porque el problema de la pobreza en el mundo, que pasó del 35% de la población mundial, en 1990, a menos del 10% en 2016, pero que afecta a más de mil millones de personas, que se sostienen con menos de 1,9 dólares por día. Es evidente una mejora porcentual, pero no deja de ser el fundamento de la preocupación de Jefes de Estado y de Gobierno, que ya en 2015 acordaron la AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE, como hoja de ruta de la humanidad, con el objetivo de acabar con la pobreza extrema, en la que todavía viven 650 millones de personas, y para ello se pretende reducir desigualdades entre países, y dentro de ellos, por razones económicas, sociales, de género y orientación sexual.

La rápida urbanización, así como los cambios demográficos y el impacto de las nuevas tecnologías podrían suponer un retroceso en el desarrollo de la humanidad

si no se aprovecha su potencial positivo. Por ello, España, comprometida con el desarrollo sostenible, y con su implementación, respalda este proceso, que se ha puesto de manifiesto con ocasión de la firma, el 26 de febrero de 2019, de un protocolo entre la ONU y la presidencia del gobierno de España.

Para ello, se han propuesto cuatro grandes soluciones emblemáticas: a) Mantener a las personas al margen de la pobreza o que las empujen nuevamente a ella; b) Fortalecer una gobernanza eficaz, inclusiva y responsable, que integra a mujeres, jóvenes, personas con discapacidad y otros colectivos; c) Mejorar la capacidad nacional de prevención y recuperación de sociedades con mayor grado de resiliencia; y d) Promover finalmente soluciones basadas en la naturaleza para el logro de un planeta sostenible.

Naturalmente, ello supondrá que la cooperación española efectúe contribuciones económicas, aunque se añade la coletilla de “que siempre que la disponibilidad de los recursos presupuestarios lo permita”.

Este acuerdo entró en vigor el 22 de septiembre pasado y, teniendo en cuenta la situación interna de la política nacional, podría tener dificultades para que constituya una verdadera y real aportación a esta estrategia. (24)

■ Reflexiones finales

En primer lugar, hemos de destacar que la orientación de la Academia se ha polarizado en galardonar a investigadores que analizan temas muy concretos de la vida económica. Es una diferencia importante con lo que sucedió en los primeros años de los Nobel de Economía: Frisch Tinbergen, Samuelson, Friedman, etc., destacaron por su contribución al conocimiento de problemas generalmente de tipo macroeconómico y conceptual. En los años siguientes fueron combinándose las distinciones a economistas teóricos con los que realizaban aportaciones muy concretas a alguna faceta particular de la ciencia económica.

Está generalizada la positiva valoración que la mayor parte de los analistas que hemos incluido en este trabajo hacen de la concesión a Banerjee, Duflo y Kremer el galardón de 2019, resaltando la sensibilidad que han tenido ante el drama de la pobreza en el mundo, independientemente de si debía tener o no prelación la pobreza sobre la desigualdad. Hay entornos en los que se observa una prioridad de la desigualdad sobre la pobreza y, en otros, justamente lo contrario. Y, particu-

larmente, por el caso de Duflo, valorada por la energía y rigor desplegado en todas sus investigaciones; por ser mujer, y por el doble reconocimiento que ha tenido en nuestro medio, tanto por la Fundación Princesa de Asturias como por la del BBVA, en el premio “Fronteras del Conocimiento”.

Y, también, las aportaciones de Kremer que, en su intervención en el Centro para el Desarrollo Global, en Washington, abogaba porque las medidas que habían aplicado los investigadores, teniendo una base científica, eran a base de soluciones materiales y superposición de pequeñas estructuras que habían contribuido a mejorar la eficacia de sus planteamientos en los países en que habían actuado.

Y, de manera particular, la necesidad de que el compromiso de las organizaciones empresariales se centre en la reducción de todos los índices de desigualdad, ya sea económica, educativa, de salud, de género, etc., y de que nos convenzamos que el futuro de la humanidad depende especialmente de la calidad ética de los ciudadanos, en la que tenemos un altísimo margen de mejora.

Evidentemente, existen algunas contradicciones en las valoraciones que realizaron algunos de los tratadistas. Ello es lógico en un mundo en el que son muchos los que opinan sobre los criterios que utiliza la Fundación Nobel al elegir a sus galardonados. Pero hemos de asumirlo como algo positivo en los que el contraste de pareceres está en la esencia del adecuado progreso de la investigación.

Hemos introducido un breve comentario sobre la posición de Hayek, reconocido economista de la Escuela austriaca, que se mostraba contrario sobre la concesión del Premio a una persona concreta. Él mismo fue reconocido con el galardón y no sería justo calificarle negativamente por las valoraciones que previamente había realizado.

Sin embargo, su influencia se ha puesto de manifiesto en el XII Congreso de la Economía Austriaca reconocido en unas jornadas en la Universidad Rey Juan Carlos, en las que se ha reconocido la necesidad de normalizar la política monetaria en Europa y, en particular, las derivaciones que ello puede generar en las medidas de reforma estructural que deben asumir los gobiernos, que se verán obligados a controlar el gasto, introducir políticas de austeridad y a impulsar medidas liberadoras que, añadimos nosotros, no perturben la asignación de los recursos suficientes que precisan los colectivos más afectados por la pobreza global.

También hemos resaltado la privacidad y discreción que se observa en la Academia sueca en la gestión anual de los Premios que, si bien no ocurre así en casos contados en los que se otorgan en otras disciplinas, en el caso del Nobel de Economía no se acertó en los que después fueron premiados.

No somos muy optimistas de la posición que tendrá España en la aportación del Programa PNUD, programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, que se ha despachado con una serie de medidas teóricas cuya aplicación será dependiente de las posibilidades presupuestarias que tengan las autoridades en el periodo considerado. De todos es conocido que los propios Presupuestos Generales del Estado tienen una serie de dificultades, tanto por las recientes críticas de las autoridades comunitarias, como por la debilidad de diseñar unos presupuestos objetivos en época de déficit y deuda pública acumulada que superan lo que nuestra pertenencia a la Unión Europea exige.

Sin olvidar un reconocimiento a la Fundación Ramón Areces, que, desde hace años, edita una publicación que divulga las aportaciones de las personas que investigan en los campos concretos de los Premios Nobel, y que permite acceder a muchas personas a las que no llegan los medios de comunicación.

■ Notas

- (1) Comunicado de la Real Academia de Ciencias de Suecia. Estocolmo. 14 de octubre de 2019.
- (2) Kremer, Michel. “Sí, crecemos económicamente, pero la gente se muere por falta de acceso a agua limpia”. Entrevista en el Centro para el Desarrollo Global. Washington. Recogido por Fernández Maeso, M. Nueva York, 5 de noviembre de 2019. Diario *El País*. Madrid, noviembre 2019.
- (3) Alaudete, David. “Nobel de Economía para tres investigadores por sus nuevos enfoques para combatir la pobreza”. *ABC*, corresponsal en Washington. Madrid Economía. 15 octubre 2019. Página 48.
- (4) Aracil, E. “Más educación: estas son las propuestas del Premio Nobel de Economía”. Departamento de Economía. Universidad Pontificia de Comillas. Madrid, 19 octubre 2019.

- (5) Berton, E. “Los países ricos reducen su gasto en ayuda humanitaria en 2018”. Londres CEST. 2 octubre 2019.
- (6) Carbó Valverde, S. “Un premio en las trincheras”. CEST. *El País*. 15 octubre 2019.
- (7) “Así es la carrera de Esther Duflo, la persona más joven y la segunda en lograr el Premio Nobel de Economía”. EFE. *El Economista*. 14 octubre 2018.
- (8) “Banerjee, Duflo y Kremer ganan el Nobel de Economía 2019”. *El Economista*. Madrid, 14 octubre 2019.
- (9) Erlik. “PREMIO NOBEL DE ECONOMÍA 2019”. Correo electrónico Erlik@erlik.
- (10) L.R.O. “Nobel de Economía para Duflo, Banerjee y Kremer”. *Expansión*. 14 octubre de 2019.
- (11) Ferruz, L. “Premio Nobel de Economía 2019”. Catedrático de Economía Financiera y Contabilidad. Universidad de Zaragoza. Miembro de la Comisión GIRA, Gestión Integral de Residuos de Aragón. Diputación General de Aragón. Zaragoza, 16 octubre 2019.
- (12) Garrigues Walker, A. “El objetivo de las empresas”. Tribuna Abierta. *ABC*. Madrid, 5 de noviembre de 2019. Página 14.
- (13) Deist, Jeff. “Lo que decía Hayek acerca del “Premio Nobel” de Economía”. 10 agosto de 2018.
- (14) Huerta de Soto, J. “La japonización de la Unión Europea”. Conferencia inaugural desarrollada en el XII Congreso de Economía Austriaca. Instituto Juan de Mariana y Universidad Rey Juan Carlos. Vicálvaro, Madrid, 14-15 mayo 2019.
- (15) Maqueda, A. “Banerjee, Duflo y Kremer ganan el Premio Nobel de Economía por sus estudios sobre la reducción de la pobreza”. Diario *El País*. Madrid, 15 de octubre de 2019.
- (16) Martínez Bravo, Mónica; Sanz de Galdeano, Anna y Vera Hernández, Marcos. “El Premio Nobel de Economía 2019: La estrategia experimental en la lucha contra la pobreza”. Sesión organizada por la Fundación Ramón Areces. Madrid, 14 de noviembre de 2019.
- (17) Palacios, L. “Banerjee, Duflo y Kremer, premios Nobel de Economía”. Madrid, 14 octubre de 2019.

- (18) Rey Biel, P. “Premio Nobel de Economía 2019: Abhijit Banerjee, Esther Duflo y Michael Kremer”. 14 octubre 2019. Email @pedroreybiel.
- (19) Suanzes, Pablo R. “El Nobel de 2019 para tres expertos en la lucha contra la pobreza mediante experimentos prácticos”. Bruselas, 14 octubre 2019.
- (20) Sánchez de la Cruz, Diego. “Los Nobel de Economía vuelven a priorizar la pobreza sobre la desigualdad”. LM/DSC. 20 OCTUBRE 2019.
- (21) Hanna Ziady. “El Premio Nobel de Economía es para una investigación sobre el alivio de la pobreza mundial”. Londres (CNN Business). 14 octubre 2019.
- (22) La República. Bogotá, Colombia, 9 octubre 2019.
- (23) La Tercera (LT). PULSO. 9 octubre 2019.
- (24) Asociación estratégica España-PNUD (2019-2021). Boletín Oficial del Estado. Madrid, 16 octubre 2019.
- (25) Información recogida de la comunicación institucional de la Academia de Ciencias de Suecia sobre los Premios Nobel. Morales-Arce, R. “El Premio Nobel de Economía 2016. Comentarios a sus actividades y descubrimientos”. Obra coordinada por Mayor Zaragoza, F. y Cascales Angosto, M. Fundación Ramón Areces. Madrid, 2017. Los dos últimos Premios se han añadido con posterioridad.

■ Anexo: los premios Nobel de Economía 1969-2019 (25)

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 7 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 permitió 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 **Bertil G. 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 Harsanyi** (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.
- 2018: **William G. Nordhaus** y **Paul M. Romer** (USA). Por sus estudios e investigaciones relativas a los efectos económicos del cambio climático.
- 2019: **Abhijit Banerjee** (India), **Esther Duflo** (Francia) y **Michael Kremer** (USA). Por su aproximación experimental al alivio de la pobreza global.

Calle Vitruvio, 5
28006 Madrid. España
www.fundacionareces.es
www.fundacionareces.tv

