

IX edición

**Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento**

**BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards**

9th edition



IX edición

**Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento**

**BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards**

9th edition



**Francisco González**  
Presidente  
Fundación BBVA

President  
BBVA Foundation

Los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento son, desde su misma concepción, un tributo del mayor nivel a la entera comunidad científica y creadora que, haciendo avanzar sus respectivos ámbitos de especialización, contribuyen de manera agregada a transformar el sistema de coordenadas desde el que entendemos el mundo natural y social, revelando nuevos estratos, facetas y procesos que anteriormente habían sido opacos a nuestro entramado conceptual y evidencia empírica heredados de un período anterior. El universo del arte, representado en esta familia de premios a través de la música, contribuye además a ensanchar y renovar nuestra sensibilidad individual y colectiva, y nuestros códigos y criteriología estética.

El eje vertebrador de esta familia de galardones es el respeto escrupuloso al conocimiento y la cultura que se nutre de él, al tiempo que contribuye a hacerlo posible e incluso a modelarlo. Ese respeto se asienta sobre la estructura de las disciplinas clásicas y nuevas representadas en los premios, en cuyo marco se genera y organiza el conocimiento. Las ocho categorías de los premios responden al mapa del conocimiento en el siglo XXI que, como elemento diferencial de nuestros tiempos, sitúa el Cambio Climático, la Ecología y Biología de la Conservación y las Tecnologías de la Información al nivel de áreas clásicas —pero en renovación permanente— como las Ciencias Básicas o la Biomedicina.

Esta reivindicación del valor y el poder del conocimiento cobra especial relevancia en una época en la que la información fluye a enorme velocidad y a escala global, con grados de accesibilidad y capilaridad desconocidos hace tan solo un par de décadas atrás. En este contexto se hace especialmente necesario discernir lo verdadero de lo falso, lo fundamental y lo accesorio, el dato validado e interpretado a la luz de una teoría del ruido emanado de ideologías y tradiciones de espaldas al *modus operandi* del pensamiento racional, de la estrategia de «ensayo y error» propio del hacer científico. Quienes mejor pueden guiarnos como sociedad en ese proceso de discernimiento son las personas que con su talento y dedicación han logrado llevar a cabo avances de la mayor significación. Ese es el principio que inspira

The BBVA Foundation Frontiers of Awards were intended from the outset as a tribute of the highest order to the entire scientific and creative community. All those who by pushing the boundaries of their specialist areas contribute piece by piece to transform the coordinates that steer us through the natural and social world, revealing new layers, facets and processes that were once opaque to our conceptual understanding and empirical evidence, inherited from a previous time. The universe of art, represented here by music, contributes furthermore to broadening and renewing our individual and collective sensibility and our aesthetic codes and criteriology.

The cornerstone of this family of awards is scrupulous respect for knowledge and the culture that both grows from it and helps facilitate or even shape its progress. This respect is patent in the structure of the disciplines, new and classical, addressed by the awards, in whose framework knowledge is created and organized. The eight prize categories are congruent with the knowledge map of the 21st century. A map distinctly of our time in which Climate Change, Ecology and Conservation Biology and Information Technologies take their place beside established yet constantly evolving domains like Basic Sciences or Biomedicine.

This vindication of the value and power of knowledge is more relevant than ever in an age when information flows at dizzying speeds to all corners of the globe, with a reach and accessibility unthinkable as little as twenty years ago. In such a context, it is more imperative than ever to distinguish the true from the false, the essence from the extras, the information interpreted and validated in the light of theory from the noise emitted by ideologies and traditions alien to the *modus operandi* of rational thought; the “trial and error” that is a hallmark of scientific knowledge. And who better to guide us as a society in this process of discernment than the individuals who have invested their talent and dedication to achieve transformative advances? This is the principle inspiring the Frontiers Awards and the reason why they so willingly cede the stage to the scientific and creative community: firstly in the process of submitting candidatures through their most representative



a los Premios Fronteras y por el que se concede de manera natural todo el protagonismo a la comunidad científica y creativa: primero en el proceso de presentación de candidaturas a través de sus instituciones más representativas, y posteriormente al constituir jurados específicos e internacionales en cada categoría, formados por destacados expertos del área y que actúan con total independencia y compromiso con la excelencia. La especialización de cada jurado evita que los premios se pierdan o tomen caminos equivocados en ese mapa del conocimiento, cada vez más complejo e interdisciplinar, e identifiquen de verdad los hitos más relevantes de cada disciplina, que antes o después se funden con la cultura toda y crean las bases para la toma de decisiones individuales y colectivas.

Si el objetivo principal de los premios es reconocer contribuciones que han movido las fronteras del conocimiento y dar la máxima visibilidad a quienes las han hecho posibles, la garantía para acertar en esa elección es la implicación de las correspondientes comunidades de expertos que han hecho suyos estos premios y los han consolidado como una referencia en sus distintos ámbitos.

Para la Fundación BBVA es un orgullo continuar reforzando desde España año a año una iniciativa a escala global en la que los investigadores de nuestro país se incorporan de forma natural a los procesos de nominación y deliberación junto a los procedentes de instituciones de primer nivel del resto del mundo. En esta tarea contamos con la colaboración, que agradecemos muy sinceramente, de numerosos investigadores de nuestra principal institución científica multidisciplinar, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

El resultado de este complejo y enormemente abierto proceso de nominación y evaluación es el singular elenco de personalidades de excelencia que presentamos en estas páginas, y a los que queremos dejar constancia de nuestro reconocimiento y gratitud.

institutions and, secondly, through their presence on the international juries, one for each category, formed by renowned experts in the subject matter who deliberate impartially with excellence as their sole yardstick. The specialist nature of each jury keeps the awards from losing their way in this knowledge map, with its increasingly complex interdisciplinary grid, and leads them to the true breakthroughs in each domain; those that will eventually merge into the background culture and, from there, inform our individual and collective choices.

For if the awards' mission is to recognize contributions that expand the frontiers of knowledge and to place their architects in a public light, how better to do so than by relying on the judgement of the communities of experts who have made the awards their own and cemented their repute in their respective knowledge fields?

The BBVA Foundation is proud to continue promoting and strengthening this global initiative born in Spain, in which our country's scientists join naturally in the nomination and decision processes with their colleagues in prestigious institutions the world over. We are aided in this task by a long list of researchers from our premier multidisciplinary scientific organization, the Spanish National Research Council (CSIC), to whom I extend here our sincerest thanks.

The result of this complex and extraordinarily open process of nomination and evaluation is the singular roll of excellence formed by the names present in these pages. To each of them our unreserved admiration and gratitude.

La ciencia y sus aplicaciones, junto con el arte y sus creaciones son, sin lugar a dudas, los dos mayores logros de nuestra especie y son los únicos de los que podemos sentirnos plenamente orgullosos. Pensándolo bien, arte y ciencia son, sin embargo, dos actividades muy diferentes: si Beethoven no hubiera nacido, nadie habría escrito nunca la *Quinta sinfonía en do menor* como él la escribió pero, aunque no hubiera existido su cuasi contemporáneo Charles Darwin, alguien habría formulado la teoría evolucionista y lo habría hecho además en la misma época y casi por los mismos años.

Ocurre que las obras de arte son literalmente inmejorables y suelen ser una creación individual; las innovaciones científicas, por el contrario, son siempre mejorables y cada vez más son fruto de un trabajo colectivo: Beethoven actuó solo, sin consultar a ningún colega y nos dejó una *Quinta sinfonía* que nadie puede mejorar, si acaso alguien la puede versionar o utilizar como base para componer variaciones sobre sus temas. Darwin, en cambio, consultó a muchos colegas, como Charles Lyell, Henry Fawcett o el joven Alfred Wallace, para perfilar o matizar sus tesis y tras él el evolucionismo no ha dejado de desarrollarse y de enriquecerse.

Ese comportamiento tan diferente de los creadores artísticos y de los científicos se puede deber a que los primeros siguen un canon estético, aunque interpretado de manera personal y autónoma, mientras que los segundos carecen de canon, pero operan dentro de un paradigma compartido con sus colegas.

Fronteras del Conocimiento nos regala año tras año una muestra de la excelencia en estas dos máximas creaciones del genio humano, la ciencia y el arte, concretamente la música.

A los galardonados con los Premios Fronteras les debemos, pues, que todos podamos seguir sintiéndonos orgullosos del género humano, porque sus respectivas creaciones ensanchan nuestro común caudal de conocimientos y de emociones estéticas.

Science and its applications, along with art and its creations, are without doubt the two supreme achievements of our species, and the only ones of which we can feel truly proud. And yet, when we think about it, art and science are two very different activities. If Beethoven had never been born, no one else would have written the Fifth Symphony in C minor, but if his near contemporary Charles Darwin had never existed, someone else would have come up with the theory of evolution and, moreover, would have done so in the same period and practically the same years.

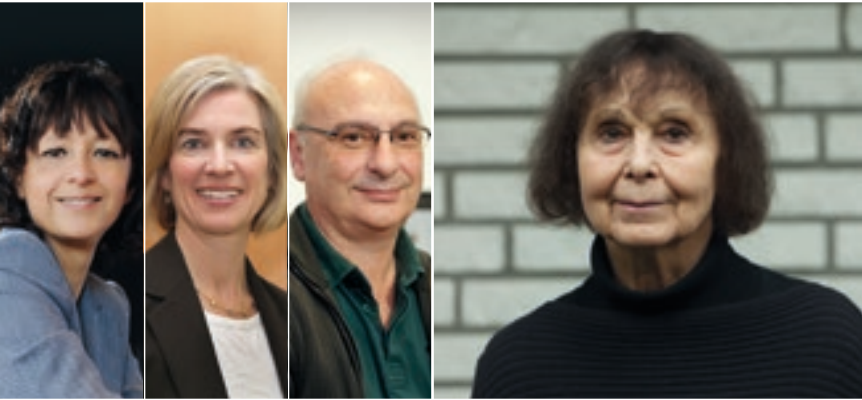
This is because works of art are literally unimprovable and tend to be of individual creation. Scientific innovations, conversely, are always improvable as well as being increasingly the result of a collective effort. Beethoven labored alone, without exchanging ideas with colleagues, and he left us a Fifth Symphony that no one can surpass, though someone could perhaps adapt it or use it as a base to compose variations on its themes. Darwin, however, consulted with a long list of colleagues, like Charles Lyell, Henry Fawcett or the young Alfred Wallace, in order to sketch out and, later, refine his thesis, and, since his death, evolutionism has continued to develop and mature.

This difference in behavior between artists and scientists may come about because the former adhere to an aesthetic canon, even if they interpret it in their own unique way, while the latter have no strict canon to refer to, but operate within a paradigm they share with colleagues.

The Frontiers of Knowledge Awards stand year after year as a beacon of excellence in these two maximum expressions of human genius; science and the arts, in this case music.

It is thanks to the Frontiers laureates, then, that we can go on feeling justified pride in the human species, because their respective creations enlarge our shared stock of knowledge and aesthetic emotions.







---

	<b>10</b>	<b>Sobre los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento</b> About the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards		
Premios Awards	<b>12</b>	<b>Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas)</b> Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics) David Cox Bradley Efron	<b>48</b>	<b>Economía, Finanzas y Gestión de Empresas</b> Economics, Finance and Management Daron Acemoglu
	<b>24</b>	<b>Biomedicina</b> Biomedicine Emmanuelle Charpentier Jennifer Doudna Francisco J. Martínez Mojica	<b>56</b>	<b>Música Contemporánea</b> Contemporary Music Sofia Gubaidulina
	<b>32</b>	<b>Ecología y Biología de la Conservación</b> Ecology and Conservation Biology Gene E. Likens Marten Scheffer	<b>64</b>	<b>Cambio Climático</b> Climate Change James E. Hansen Syukuro Manabe
	<b>40</b>	<b>Tecnologías de la Información y la Comunicación</b> Information and Communication Technologies Geoffrey Hinton	<b>72</b>	<b>Cooperación al Desarrollo</b> Development Cooperation Pedro L. Alonso Peter J. Myler
	<b>80</b>	<b>Comisiones técnicas de evaluación</b> Technical evaluation committees		
	<b>83</b>	<b>Símbolo artístico <i>Fronteras del Conocimiento</i></b> <i>Frontiers of Knowledge</i> artwork		
	<b>85</b>	<b>Concierto</b> Concert		
	<b>87</b>	<b>Ceremonia de entrega</b> Presentation ceremony		
<b>88</b>	<b>Galardonados en ediciones anteriores</b> Laureates in previous editions			
<b>96</b>	<b>Créditos</b> Credits			

---

## Sobre los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento

## About the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards



Los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento quieren reconocer e incentivar la investigación y creación cultural de excelencia, en especial aquellas contribuciones de amplio impacto por su originalidad y significado teórico. La denominación de estos premios quiere significar tanto el trabajo de investigación capaz de ampliar el ámbito del conocimiento —desplazando hacia delante la frontera de lo conocido— cuanto el encuentro y solapamiento entre áreas disciplinares.

Los Premios Fronteras distinguen avances fundamentales, disciplinares o supradisciplinares en las áreas de las ciencias básicas, naturales y sociales, y de la tecnología. Se reconoce también la creación de excelencia en la música clásica de nuestro tiempo. Asimismo, dos cuestiones centrales de la sociedad global del siglo XXI, el cambio climático y la cooperación al desarrollo socioeconómico de amplias zonas del mundo, son también objeto de estos galardones, que contemplan tanto la investigación sobresaliente sobre esas dos problemáticas como las actuaciones de tipo diverso que representen avances significativos en su abordaje.

La orientación de los Premios Fronteras responde a los siguientes principios: En primer lugar, el reconocimiento de la importancia del conocimiento básico que, sin perjuicio del valor de otras formas de investigación científica aplicada promovida por las políticas científicas de las últimas décadas, sigue constituyendo el motor fundamental del cambio científico e, indirectamente, del progreso y bienestar material, además del desarrollo de la cultura. Por otro lado, atender al carácter interdisciplinar del conocimiento en las últimas décadas del pasado siglo y en el presente, motivando un agrupamiento de áreas reflejo de la interacción y el solapamiento entre disciplinas (Física, Química y Matemáticas; Biología y Medicina; Economía, Finanzas y Gestión de Empresas), al tiempo que se preserve la posibilidad de reconocer avances de significado especial en tan solo una de las disciplinas. Los premios, de carácter anual, reconocen además el hecho de que muchas de las contribuciones decisivas al conocimiento de nuestra época son resultado de la colaboración de grandes equipos de investigadores, lo que lleva, a diferencia

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards seek to recognize and encourage world-class research and artistic creation, prizing contributions of broad impact for their originality and theoretical significance. The name of the scheme is intended to encapsulate both research work that successfully enlarges the scope of our current knowledge – pushing forward the frontiers of the known world – and the meeting and overlap of different disciplinary areas.

The Frontiers Awards honor fundamental disciplinary or supradisciplinary advances in a series of basic, natural, social and technological sciences. They also recognize creative activity of excellence in the classical music of our time. Categories are reserved for two core concerns of early 21st-century society, climate change and socioeconomic development cooperation, with awards going alternatively to outstanding research work or projects of a diverse nature that mark a significant advance in addressing these global challenges.

The goal of the Frontiers Awards can be summed up in the following principles. Firstly, to recognize the importance of basic knowledge. However valuable the other forms of applied scientific research prized by science policy in these past decades, basic knowledge remains the principal driver of scientific change and, indirectly, of our material progress, wellbeing, and cultural development. Secondly, to recognize the increasingly interdisciplinary nature of knowledge in the closing decades of the last century and our present days. Hence the decision to group awards so as to reflect the interaction and overlap of disciplines (Physics, Chemistry and Mathematics; Biology and Medicine; Economics, Finance and Management), while retaining the option to distinguish an outstanding advance in one discipline alone. The awards, organized annually, also acknowledge the fact that many seminal contributions to our current stock of knowledge are the result of collaborative working between large research teams. This is why, unlike other prizes reserved for one person alone or perhaps three at most, they may be shared by any number of any size teams, provided the achievement being recognized is the result of collaborative or parallel working. Further, honors in basic, natural and social

de otros premios que recaen en una sola persona o, en todo caso, en un número no superior a tres, a aceptar la posibilidad de hacer objeto del galardón a uno o más equipos, sin restricción del número de sus integrantes, siempre que el avance premiado haya sido resultado del trabajo conjunto o paralelo de distintos investigadores. Asimismo establecen, junto a las ciencias básicas, naturales y sociales, y la tecnología, una categoría que premia la creación de excelencia en uno de los ámbitos más innovadores y que más influye en el modelado de la cultura y sensibilidad de una época, como es la música de nuestro tiempo. Por último, reconocen los esfuerzos de tipo diverso (desde la investigación hasta las actuaciones e iniciativas prácticas) en dos cuestiones centrales de la sociedad global del siglo XXI: el cambio climático y la cooperación al desarrollo.

Los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento son fallados por jurados de expertos de perfil internacional en las respectivas áreas, que operan con total independencia y aplicando exclusivamente los indicadores y métrica de excelencia propios de cada área. La responsabilidad de la composición de las comisiones técnicas de evaluación recae de forma conjunta en la Fundación BBVA y la principal institución pública de investigación en España, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que propone además al presidente de cada jurado y a quien la Fundación BBVA consulta también la composición de los restantes miembros de los jurados. La colaboración entre el CSIC y la Fundación BBVA asegura la objetividad, independencia y criterios de excelencia en todo el proceso de selección de candidatos, colaboración que descansa en una visión compartida acerca del papel fundamental que, en las primeras décadas del siglo XXI, tienen la investigación científica avanzada y la creación cultural en la mejora continua de la sociedad.

sciences and technology are joined by a category recognizing creative work of excellence in contemporary music, a particularly innovative area that does much to shape the culture and identity of each era. Finally, recognition is extended to diverse endeavors (from research through to practical actions and initiatives) in the areas of climate change and development cooperation, two central issues of the global society of the 21st century.

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards are decided by juries made up of internationally reputed experts in their respective fields, who deliberate in complete independence relying solely on the standards and metrics of excellence proper to the subject area. The composition of the technical evaluation committees is determined jointly by the BBVA Foundation and the National Research Council (CSIC), Spain's premier public research organization, which also proposes the jury chair. The Foundation likewise confers with CSIC on the appointment of remaining jury members. The partnership between CSIC and the BBVA Foundation endorses the objectivity, independence and standards of excellence informing each stage of the selection process. It also rests on a shared conviction of the fundamental role played by world-class scientific research and artistic creation in the opening decades of the 21st century as a force for the ongoing advancement of society.

«Mi modelo sirve para estimar la probabilidad de que se produzcan desde terremotos hasta quiebras económicas.»

“My model serves to estimate the likelihood of major events ranging from earthquakes to bankruptcies.”

David Cox

«Los problemas que aborda la ciencia moderna implican trabajar con más datos y eso genera ruido. La estadística nos permite eliminarlo.»

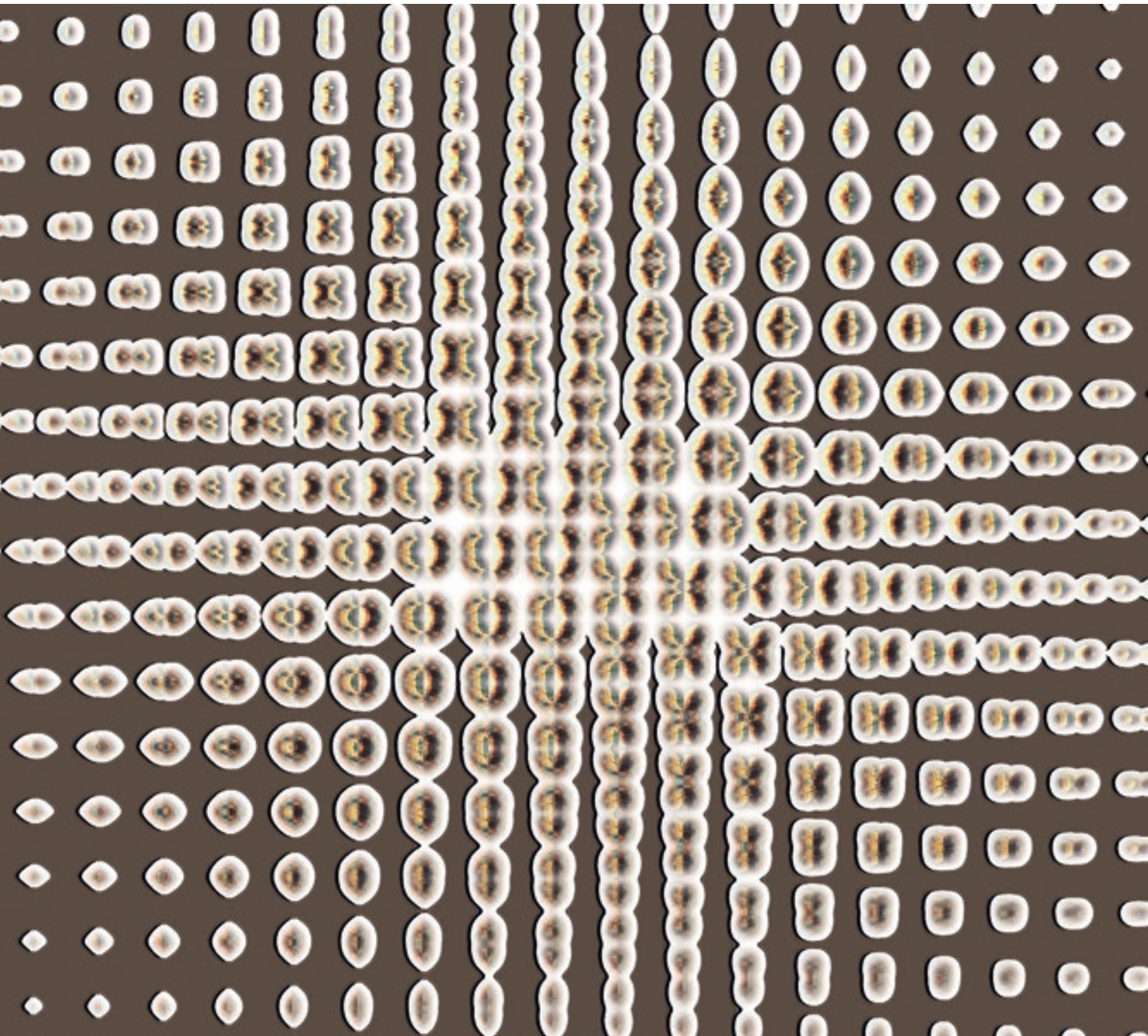
“The problems of modern science require working with more and more data, and that creates noise. Statistics helps us eliminate the noise.”

Bradley Efron



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas)**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**







# David Cox

# Bradley Efron

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas)**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

15

## La estadística frente al ruido

Para el matemático Bradley Efron la estadística es la «actriz secundaria» de la ciencia. No secundaria en importancia, sin embargo. El sobrenombre hace referencia a que los métodos estadísticos no suelen atraer la atención de los focos, que lógicamente se concentran en los descubrimientos. Ahora bien, los descubrimientos surgen de los datos, y los datos hay que interpretarlos... con estadística. Pocos descubrimientos son posibles sin esta, en apariencia, poco glamurosa rama de la ciencia. Por eso Efron, catedrático de Estadística en la Universidad de Stanford (Estados Unidos), y su colega David Cox, de la Universidad de Oxford (Reino Unido), reciben el Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Ciencias Básicas: sus contribuciones llevan décadas siendo imprescindibles para obtener resultados en un amplísimo rango de áreas, desde la medicina a la astrofísica, la genómica o la física de partículas.

En la actual era del *big data*, cuando no solo la ciencia sino también los avances tecnológicos y la economía se nutren de ingentes cantidades de datos, las aportaciones de Cox y Efron cobran aún más relevancia. «Los problemas que aborda la ciencia moderna implican trabajar con más datos y eso genera ruido», dice Efron. «Ahora para extraer la información relevante tenemos que eliminar gran cantidad de ruido, y la estadística es lo que nos permite hacerlo».

Cox y Efron publicaron sus trabajos de mayor impacto en los años setenta. En el artículo de Cox *Regression models and life tables* (1972) se explica una poderosa herramienta para estimar el intervalo temporal entre dos eventos dependientes de factores identificables. El llamado método de Cox informa, por ejemplo, sobre el riesgo de muerte de pacientes en tratamiento, de abandono escolar en una determinada población

## Statistics versus noise

For mathematician Bradley Efron, statistics is the “supporting actor” of science, but no less important for that. He means by this that statistical methods rarely occupy the spotlight, which is reserved logically enough for the big discoveries. But then, discoveries come from data, and data need interpreting... with statistics. Few advances would be possible without the aid of this apparently unglamorous branch of science. And the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Basic Sciences bestowed on Efron, Professor of Statistics at Stanford University (United States), and his colleague David Cox of the University of Oxford (United Kingdom) acknowledges its vital contribution to results obtained in multiple domains from medicine to astrophysics by way of genomics or particle physics.

In today’s world of Big Data, when not only science but also technology and economics feed off vast quantities of data, Cox and Efron’s work takes on even more importance. “The problems confronted by modern science involve working with larger and larger data sets, and that creates noise,” remarks Efron. “Now to get to the important information we need to eliminate a lot of noise, and it is statistics that lets us do that.”

Cox and Efron published their most celebrated contributions in the 1970s. In Cox’s paper “Regression Models and Life-Tables” (1972), he explains the workings of a powerful tool to estimate the time interval between two events dependent on identifiable factors. The Cox model can tell us, for instance, about the mortality risk of patients under treatment, the school dropout rate in a given population, or the risk of business bankruptcy. It finds use in cancer research, epidemiology and sociology; in testing the durability of industrial products and even predicting the likelihood of earthquakes.

Las técnicas estadísticas de Cox y Efron son imprescindibles en una ciencia basada cada vez más en el análisis de grandes cantidades de datos. El método de Cox se usa en medicina, sociología, en la industria... incluso para estimar el riesgo de terremotos. Con el *bootstrap* de Efron se determina el margen de error de una medida.

Cox and Efron's statistical techniques are indispensable in today's science, increasingly reliant on large scale data analysis. The Cox method is used in medicine, sociology, industry... even to estimate the risk of earthquakes. Efron's bootstrap assigns measures of accuracy to a given estimate.

o de bancarrota en las empresas. Es una herramienta usada en la investigación del cáncer, en epidemiología, sociología..., incluso en los ensayos de durabilidad de productos industriales o en la estimación de riesgo de terremotos.

David Cox (Birmingham, Reino Unido, 1924) era ya un investigador de prestigio cuando desarrolló su método. Formado en la Universidad de Cambridge, había empezado a investigar en estadística por la demanda de esta ciencia en aplicaciones militares durante la Segunda Guerra Mundial. Antes de doctorarse trabajó para el Royal Aircraft Establishment y después para la Asociación de Investigación de la Industria de la Lana. Posteriormente investigó en la Universidad de Cambridge, la Universidad de Londres, el Imperial College de Londres y, desde 1988, en la Universidad de Oxford.

El origen del *método de Cox* fue una pregunta que le plantearon a la vez, de manera independiente, varios amigos que estudiaban el tiempo de supervivencia de pacientes: Cómo saber cuánto influía en la supervivencia el tratamiento frente a otras variables propias de cada enfermo. «Me llevó tres o cuatro años hallar la manera de descubrirlo», cuenta Cox, «y finalmente publiqué el trabajo en una revista científica. Para mi sorpresa, resultó ser de utilidad para mucha gente, algo que me hace muy feliz». En su opinión, las aplicaciones más interesantes de su trabajo están relacionadas con el trasplante de órganos y con el tratamiento de enfermedades muy graves, como la fibrosis quística.

También Bradley Efron (Minnesota, Estados Unidos, 1938) ha mantenido una estrecha vinculación con la biomedicina —su cátedra en Stanford está adscrita al Departamento de Datos Científicos Biomédicos en la Facultad de Medicina—. No obstante, su principal aportación se emplea en casi todas las áreas de la ciencia. Es el *bootstrap*, término traducible como 'lengüeta de bota', una herramienta estadística para determinar algo tan importante en ciencia como el margen de error de una medida.

Efron, que llegó a la estadística guiado por la afición de su padre a las clasificaciones deportivas, buscaba

At the time of developing his model, David Cox (Birmingham, United Kingdom, 1924) was already a reputed researcher. Trained at the University of Cambridge, his move into statistics was due to military imperatives at the time of the Second World War. Before earning his PhD, he had been employed at the Royal Aircraft Establishment, and he afterwards worked for the Wool Industries Research Association. His subsequent career would take him to the University of Cambridge, the University of London, Imperial College London and, since 1988, the University of Oxford.

The story of the Cox model started with a question posed independently by various friends studying patient survival time: How can we tell how much the treatment applied is influencing survival compared to other features inherent to each patient? "It took me three or four years to develop a solution," says Cox, "and finally my work got published in an academic journal. Rather to my surprise, lots of people found it useful, which I am very happy about." In his view, the most interesting applications of his research have to do with organ transplants and the treatment of life-threatening diseases like cystic fibrosis.

Bradley Efron (Minnesota, United States, 1938) has also interacted closely with biomedicine – his Stanford professorship is in the Department of Biomedical Data Science at the university's medical school. However, what remains his seminal contribution finds application in almost every realm of science. The bootstrap, as it is known, is a statistical technique to determine such a vital scientific variable as the margin of error of a given measurement.

Efron, whose interest in statistics was sparked by his father's fondness for sports rankings, was looking for a way to determine the accuracy of a result without taking repeat measurements – impossible in many cases like, for instance, invasive medical tests. The solution he found was so simple in appearance that it initially met with distrust: "It seemed like cheating and it wasn't obvious that it would work," Efron recalls. Not long after, its utility was endorsed in literally thousands of papers. The crux of his idea was to gather data at random from the only available sample,



una manera de determinar el grado de precisión de un resultado sin tener que repetir las medidas, algo a menudo imposible, por ejemplo, en el caso de pruebas médicas invasivas. La solución que encontró era en apariencia tan simple que al principio fue acogida con desconfianza: «Parecía como hacer trampa, y no era obvio que funcionara», comenta Efron. Pronto aparecieron miles de trabajos demostrando su eficacia. La idea se basa en tomar datos aleatoriamente de la única muestra disponible y analizarlos. Después, ese mismo proceso se repite una y otra vez, y es ese remuestreo aleatorio reiterado el que proporciona el margen de error. En la técnica resulta crucial el uso de los ordenadores, llegados a la estadística de la mano de Efron. Con ellos era posible repetir el remuestreo un gran número de veces y afinar así mucho más la precisión del resultado.

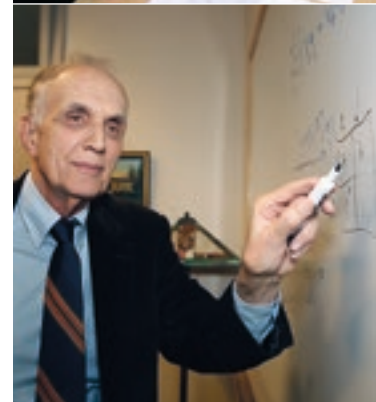
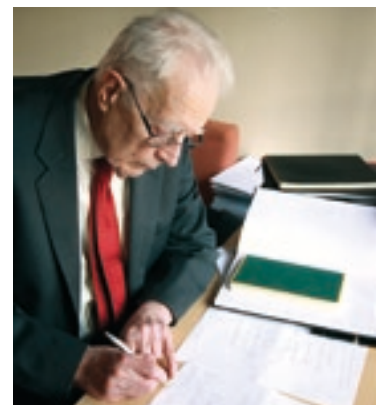
En cuanto al término *bootstrap*, da pistas sobre el chispeante talante de Efron. Buscando un nombre al menos tan atractivo como el de otra herramienta estadística llamada *jackknife* (navaja), Efron se inspiró en los cuentos del Barón de Münchhausen. En uno de ellos el barón se salva de ahogarse tirando de sus propias lengüetas, un buen referente para una técnica que *tira de los propios datos* sin recabar más.

El *bootstrap* se publicó en 1979. Hasta entonces, el margen de error se determinaba con aproximaciones matemáticas «que podían ser muy complejas y no siempre acertaban», explica Efron, y sin embargo «con el *bootstrap* delegas el trabajo en las máquinas».

and subject them to analysis. The same process is then re-run many times over, and it is this random re-sampling that provides the margin of error. This is a technique that hinges on the use of computers, which owe their preponderance in statistics to Efron's work. With computers, re-sampling could be done time and time again, fine-tuning the precision of outcomes.

The term “bootstrap” is itself a clue to Efron's effervescent talent. Searching for a name at least as catchy as the other statistical tool called the jackknife, Efron took his inspiration from the adventures of Baron Munchausen. In one story, the Baron saves himself from drowning by hoisting himself up by the straps of his boots, an appropriate image for a technique that relies on the data *per se*, without external inputs.

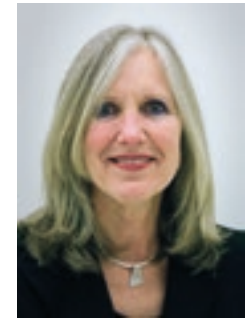
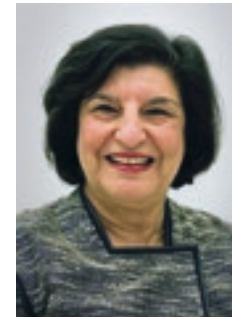
Bootstrapping was described in a paper published in 1979. Until then, the margin of error had been worked out by mathematical approximations “which could be very complex and were not always correct,” explains Efron. “With the bootstrap, you delegate the hard part to the machines.”



Más información:



More information:



**Theodor W. Hänsch**

**Francisco Guinea**

**Trevor Hastie**

**Nigel Hitchin**

**Zakya H. Kafafi**

**Carmen Menoni**

**Presidente del jurado**

Es director de la División de Espectroscopia Láser en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Garching, Alemania) y catedrático en la Facultad de Física de la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich. Investiga sobre física cuántica de los átomos ultrafríos y espectroscopia láser ultraprecisa. Su trabajo sobre esta última materia y la técnica peine de frecuencias ópticas le valió el Premio Nobel de Física 2005. Es medalla Frederic Ives (Sociedad Americana de Óptica) y Stern Gerlach (Sociedad Alemana de Física).

**Secretario del jurado**

Es profesor de investigación en el Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Nanociencia y ha sido catedrático en la Universidad de Mánchester (Reino Unido). Su investigación abarca numerosas áreas en materia condensada y física estadística, desde los sistemas mesoscópicos y la disipación cuántica a la ciencia de materiales, con especial énfasis en sistemas altamente relacionados, formación de patrones del no equilibrio, magnetismo y física de los superconductores y semiconductores.

Es catedrático John A. Overdeck, catedrático de Estadística y catedrático de Ciencia de los Datos Biomédicos en la Universidad de Stanford (Estados Unidos). Ha realizado importantes contribuciones en metodología estadística aplicada, es experto en estadística computacional y minería de datos, y actualmente trabaja en modelos estadísticos aplicados y en problemas de predicción en biología y genómica y en medicina e industria. Ha recibido reconocimientos como el Premio Parzen en Innovación Estadística y el Myrto Lefkopolou Award (Universidad de Harvard).

Catedrático emérito Savilian de Geometría en la Universidad de Oxford (Reino Unido), sus líneas de investigación se centran en la geometría diferencial y en la algebraica, y su relación con la física teórica. Entre sus descubrimientos más notables está el sistema integrable Hitchin. Además, ha establecido una colaboración formal con el Grupo de Geometría del Instituto de Ciencias Matemática (ICMAT), en Madrid, a través del Laboratorio Donaldson-Hitchin. Entre otras muchas distinciones ha obtenido la Medalla Sylvester de la Royal Society, el Senior Berwick Prize y el Premio Pólya de la Sociedad Matemática de Londres.

Es catedrática adjunta del Departamento de Ingeniería Electrónica y Computacional de la Universidad Lehigh (Estados Unidos). Ha realizado investigación pionera en materiales y dispositivos orgánicos optoelectrónicos que se ha traducido en aplicaciones en pantallas planas y en iluminación de estado sólido, y ha logrado integrar nanoestructuras plasmónicas metálicas en células solares orgánicas para aumentar su eficiencia. Ha recibido el Edison Patent Award del Naval Research Laboratory y el R&D 100 Award. Es directora fundadora en jefe del *Journal of Photonics for Energy*.

Es *university distinguished professor* en el Departamento de Ingeniería Electrónica y Computacional de la Universidad Estatal de Colorado (Estados Unidos). Trabaja en el crecimiento y caracterización de materiales óxidos para el desarrollo de recubrimientos multicapas para láseres de alta potencia e investiga en el uso de haces coherentes de luz con longitudes de onda de entre 10 y 50 nanómetros para aplicaciones en microscopia, ablación y espectroscopia. Es R&D 100 Award y *fellow* del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), entre otras distinciones.

**Chair of the jury**

Director of the Division of Laser Spectroscopy at the Max Planck Institute of Quantum Optics (Garching, Germany) and professor in the Faculty of Physics at the Ludwig Maximilian University of Munich. His research areas include the quantum physics of ultracold atoms and ultraprecise laser spectroscopy. It was his work in this last field and, particularly, on the optical frequency comb that won him the 2005 Nobel Prize in Physics. Holder of the Frederic Ives Medal (Optical Society of America) and the Stern Gerlach Medal (German Physics Society).

**Secretary of the jury**

Research Professor at the IMDEA Nanoscience Institute and a former professor at the University of Manchester (United Kingdom). His research ranges across diverse areas of condensed matter and statistical physics, from mesoscopic systems and quantum dissipation to materials science, with emphasis on highly correlated systems, non-equilibrium pattern formation, magnetism, and superconductor and semiconductor physics.

John A. Overdeck Professor, Professor of Statistics, and Professor of Biomedical Data Science at Stanford University (United States), he is the author of major contributions in applied statistics, statistical computing, and data mining, and is currently working on applied statistical modeling and prediction problems in biology and genomics, medicine and industry. Among other honors, he holds the Parzen Prize for Statistical Innovation and the Myrto Lefkopolou Award (Harvard University).

Emeritus Savilian Professor of Geometry at the University of Oxford (United Kingdom), his main research areas are differential and algebraic geometry and its links to theoretical physics. Among his notable discoveries is the Hitchin integrable system. He also has a formal collaboration with the Geometry Group at the Institute of Mathematical Sciences (ICMAT) in Madrid through the Donaldson-Hitchin Laboratory. His distinctions include the Sylvester Medal of the Royal Society and the Senior Berwick Prize and Pólya Prize of the London Mathematical Society.

Adjunct Professor of Electrical and Computer Engineering at Lehigh University (United States). She pioneered work in organic light-emitting materials and devices, leading to applications in flat panel displays and solid state lighting, and has successfully integrated plasmonic nanostructures with organic solar cells to improve their efficiencies. Her honors include an Edison Patent Award from the Naval Research Laboratory and an R&D 100 Award. She is also Founding Editor-in-Chief of the *Journal of Photonics for Energy*.

University Distinguished Professor in Electrical and Computer Engineering at Colorado State University (United States). She is currently engaged in the growth and characterization of high bandgap oxide materials for the engineering of interference coatings for high power lasers, and is also actively involved in using bright coherent beams of light of wavelengths between 10-50 nm for optics applications such as imaging, spectrometry and ablation. Among other distinctions, she holds an R&D 100 Award, and is a Fellow of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).



### Martin Quack

Es catedrático en la Escuela Politécnica Federal (ETH) de Zúrich (Suiza), donde dirige el Grupo de Cinética y Espectroscopia. Desarrolla su investigación en espectroscopia de alta resolución, cinética molecular, simetrías fundamentales en física y química molecular, y violación de la paridad en moléculas quirales. Ha recibido numerosos galardones, como el Premio Nernst Haber Bodenstein de la Sociedad Bunsen de Alemania para la Física-Química (DBG), entidad de la que ha sido presidente. Ha sido miembro del Consejo Nacional Suizo de Investigación.

Professor at ETH Zurich (Switzerland), where he leads the Molecular Kinetics and Spectroscopy Group. His research interests lie in high-resolution spectroscopy, molecular kinetics, fundamental symmetries in physics and chemistry and parity violation in chiral molecules. A former member of the Swiss National Research Council, his numerous honors include the Nernst Haber Bodenstein Prize of Germany's Bunsen Society for Physical Chemistry (DBG), of which he is a past president.

### Sandip Tiwari

Es titular de la Cátedra Charles N. Mellowes de Ingeniería en la Universidad de Cornell (Estados Unidos). Ha dirigido la Red Nacional de Infraestructura para la Nanotecnología (NNIN) (Estados Unidos). Ha sido profesor invitado en las universidades de Michigan, Columbia y Harvard, y fundador de la revista *Transactions on Nanotechnology*. Su investigación se centra en cuestiones que surgen al conectar grandes escalas (como la de los sistemas electrónicos integrados de gran tamaño) con la nanoescala, que obliga a aplicar conocimientos de ingeniería, física e informática.

Charles N. Mellowes Professor of Engineering at Cornell University (United States). Formerly director of the U.S. National Nanotechnology Infrastructure Network (NNIN) and visiting professor at Michigan, Columbia and Harvard universities, he was among the founders of the journal *Transactions on Nanotechnology*. His research focuses on the questions that arise when connecting large scales (like those of massively integrated electronic systems) to nanoscales, applying knowledge from engineering, physics and computing.

### Xueming Yang

Es *distinguished research fellow* en el Dalian Institute of Chemical Physics and catedrático y director del Departamento de Física Química en la Universidad de Ciencia y Tecnología de China. Su investigación se centra en la dinámica química experimental y en la espectroscopia en la fase gaseosa y en la interfaz. Ha desarrollado una nueva generación de instrumentos de espectroscopia molecular que permiten realizar estudios de los aspectos cuánticos en la dinámica de reacciones químicas. Es premio de Investigación Humboldt y premio de Ciencia Tan Kah Kee, entre otras distinciones.

Distinguished research fellow at the Dalian Institute of Chemical Physics and professor at the University of Science and Technology of China, where he chairs the Department of Chemical Physics. His research interests lie in the area of experimental chemical dynamics and spectroscopy in the gas phase and at the interfaces. He has developed a new generation of molecular beam instruments for quantum state resolved reaction dynamics studies. His honors include the Humboldt Research Award and the Tan Kah Kee Science Award.

## Jurado / Jury

### Ciencias Básicas

(Física, Química, Matemáticas)

### Basic Sciences

(Physics, Chemistry, Mathematics)

## Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Ciencias Básicas ha sido concedido en su novena edición a David Cox y Bradley Efron por sus contribuciones pioneras y enormemente influyentes a la teoría y práctica de la estadística. Sus métodos se usan diariamente en la práctica de la ciencia estadística y han tenido un gran impacto en todas las ciencias que dependen del análisis de datos.

Estas técnicas se utilizan en multitud de áreas, por ejemplo, para demostrar que al año de haber dejado de fumar ya se produce un descenso en la mortalidad, en el desarrollo de instrumentos médicos de medición y en el análisis de datos en medicina clínica, economía o astrofísica.

David Cox inventó el modelo de riesgos proporcionales para el análisis de datos de supervivencia. La denominada *regresión de Cox* es una herramienta fundamental para modelizar la distribución estadística de factores causales y se utiliza ampliamente en muchas áreas, incluidas la investigación en cáncer, la epidemiología, la medicina, la economía, la sociología y los ensayos sobre productos industriales. La regresión de Cox da cabida de manera elegante a las observaciones incompletas («censuradas») — por ejemplo, porque el estudio termina sin que se haya producido el evento o no se puede realizar el seguimiento de determinados sujetos — y permite estimar los efectos del tratamiento ajustado para otras variables que puedan afectar al resultado.

Bradley Efron creó el método *bootstrap*, una técnica de remuestreo que aprovecha la potencia computacional de los ordenadores para aproximar la distribución de estimadores estadísticos extraídos de los datos. Lo maravilloso de este procedimiento es que puede utilizarse con estadísticas nuevas para las que los resultados teóricos son imprecisos y se emplea en un amplísimo número de disciplinas con el fin de estimar errores estándar, tasas de error, intervalos de confianza y pruebas de hipótesis.

## Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Basic Sciences goes, in this ninth edition, to David Cox and Bradley Efron for their pioneering and hugely influential contributions to the theory and practice of statistics. Their methods are used on a daily basis in the practice of statistical science, and have made an enormous impact in all the sciences which rely on the analysis of data.


These techniques have found pervasive use. Examples include conclusions that even a year of smoking cessation decreases mortality, the development of medical measurement instruments, and analysis of clinical, economic and astrophysics data.

David Cox invented the proportional hazards model for the analysis of survival data. This “Cox model” is a fundamental tool for modeling lifetime distributions, and is widely used in many areas, including cancer research, epidemiology, medicine, economics, sociology and industrial testing. The Cox model elegantly accommodates observations that are “censored” – for example, when the study ends, or subjects are lost to follow-up – and allows for the estimation of treatment effects while adjusting for other variables that may affect the outcome.

Bradley Efron invented the “bootstrap” method, a computer-intensive resampling technique for approximating the distribution of statistical estimators extracted from data. The magic of this procedure is that it can be used with novel statistics, for which theoretical results are elusive. The bootstrap is widely used across all disciplines for estimating standard errors, error rates, confidence intervals, and hypothesis testing.

El futuro se decide hoy  
Today we decide the future





**H**ace cerca de dos siglos, el geólogo británico Charles Lyell encapsuló una profunda revolución científica y de creencias en la frase «El presente es la clave del pasado». Los avances que se recogen en estas páginas permitirían añadir: «... y del futuro». En esta edición de los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento emerge recurrente la idea de que las decisiones que tomamos hoy determinan el mañana. En varias categorías se reconoce a creadores de tecnologías de enorme poder transformador, como las que hacen posible modificar a voluntad el genoma humano o las que dotan a las máquinas de capacidad para aprender. El impacto de estas nuevas herramientas dependerá de cómo decidamos aplicarlas. Y también en las categorías de Cambio Climático, y en Ecología y Biología de la Conservación, advierten los galardonados de que el presente puede lastrar el futuro: si no se toman ya medidas para evitarlo, el planeta en su conjunto sufrirá grandes cambios y con él sus habitantes. La actual, se diría, es una época de filo de navaja, de punto de inflexión o incluso, tal vez, de no retorno.

Se podría alegar que cada época es crítica a ojos de quien la vive. Que la historia es eso, una sucesión de transformaciones causadas por descubrimientos —transformaciones a menudo con final feliz; véanse la agricultura, la era industrial o la llegada de los antibióticos—. Así pues, ¿es un sesgo considerar crítico, y hasta peligroso, el siglo XXI? ¿Existen siquiera los momentos álgidos en la evolución de un planeta o de una sociedad?

La cita de Lyell vinculando presente y pasado se refiere a la Tierra, y en concreto al hecho de que los mismos procesos geológicos que

hoy esculpen sus paisajes, como la erosión o el depósito de sedimentos, actuaban también en el pasado. La idea era revolucionaria por incompatible con las creencias de la época: los pocos miles de años en que fija la Biblia la edad de la Tierra no bastan para levantar cordilleras si el proceso constructor es tan gradual como la sedimentación. Y así, *gradualistas* y *catastrofistas* se enzarzaron entonces en un intenso debate. Ambos tenían parte de razón. Sí, la Tierra es antigua —4.500 millones de años— y su relieve se dibuja despacio; pero también ocurren *catástrofes* que desencadenan cambios drásticos —el impacto de un meteorito—, seguidos por etapas poco o nada parecidas a las anteriores.

¿Es el rápido aumento de gases de efecto invernadero una de estas catástrofes? Antes de la era industrial, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era de 280 partes por millón (ppm); en 2017 alcanzaremos 408 ppm. Marten Scheffer, que demostró que los ecosistemas pueden cambiar de golpe incluso presionados por fuerzas graduales, y sus colegas Gene Likens, James Hansen y Syukuro Manabe, advierten de que si esta cifra no se reduce el planeta quedará irremisiblemente alterado. Y el momento para actuar es ahora, aunque no haya redoble de tambores que alerte de la inminencia de los cambios. La última vez que hubo tanto CO<sub>2</sub> en la atmósfera fue hace unos 5 millones de años, cuando el nivel del mar era más de 6 metros superior al actual.

Tampoco son pequeños los cambios producto de los avances reconocidos en otras categorías. El trabajo de Geoffrey Hinton, creador de programas con los que los ordenadores *aprenden a aprender*, induce a reflexionar sobre máquinas *inteligentes* que


conquistan el espacio laboral. Y también hay debate en torno a CRISPR/Cas9, obra de Emmanuelle Charpentier, Jennifer Doudna y Francisco Mojica. Esta poderosa técnica de edición genética tiene el potencial de evitar enfermedades, pero también de modificar la línea germinal humana.

No son raros en la historia de la ciencia este tipo de dilemas. La búsqueda de conocimiento desemboca a menudo en cambios inesperados, fuente a su vez de nuevos retos. Pero, por supuesto, el conocimiento impulsa también cambios buscados. Los premios no olvidan este aspecto al reconocer a Pedro Alonso y Peter Myler. Su labor pone de relieve un hecho ominoso: en el siglo XXI siguen muriendo millones de personas por enfermedades que tienen cura.

Convertir en prioritaria la lucha contra estas infecciones implica igualmente tomar las decisiones correctas. Decisiones, por ejemplo, para que también los menos favorecidos accedan a las herramientas impulsoras de los avances mencionados —entre ellas las indispensables técnicas estadísticas creadas por David Cox y Bradley Efron—. Y decisiones para dotar a los países de instituciones de calidad que, como muestra Daron Acemoglu, son una palanca para el desarrollo.

Se ha discutido mucho sobre la responsabilidad de los científicos en los cambios fruto de su trabajo. Lo único claro al respecto es que en la construcción del futuro puede intervenir toda la sociedad. De la compositora Sofia Gubaidulina el jurado reconoce su capacidad para «seguir su conciencia en circunstancias políticas extremadamente difíciles», con un valor expresado en su música «de gran dimensión transformadora». Su ejemplo resulta inspirador no solo para los artistas.





**A**lmost two centuries ago, the British geologist Charles Lyell encapsulated a profound revolution in science and beliefs in the phrase “The present is the key to the past.” Reflecting on the advances described in these pages, we might add: “... and to the future.” For an idea that runs through this edition of the Frontiers of Knowledge Awards is that the decisions we take today will determine our tomorrow. Awards in several categories have gone to the minds behind technologies of huge transformative power, like those allowing us to modify at will the human genome or that endow machines with the ability to learn. The impact of these new tools will depend on how we choose to apply them. In similar fashion, laureates in the Climate Change and Ecology and Conservation Biology categories are explicit in warning that the present may undermine the future: without measures to prevent it, the entire planet, and its inhabitants with it, will experience radical transformations. We are living, one might say, on the razor’s edge; at a turning point or, perhaps even, a point of no return.

It could be argued of course that every age is critical in the eyes of its contemporaries. That history is exactly that; a chain of transformations driven by discoveries – transformations that may of course end happily, as in the case of agriculture, the industrial age or the advent of antibiotics. Is it simply biased then to see the 21st century as critical or even dangerous? Are there even such things as tipping points in the evolution of a planet or a society?

Lyell’s words linking present and past refer to our Earth, to the fact that the same geological processes that today sculpt its

landscapes, like erosion or the deposit of sediments, also operated in the past. This was a revolutionary idea, totally at odds with the beliefs of the time: the few thousand years that the Bible sets as the Earth’s age could never suffice to raise a mountain range if its mode of construction were as gradual as sedimentation. And so “gradualists” and “catastrophists” locked horns in an intense debate. Both were partly right. Yes, the Earth is old – 4.5 billion years old – and its relief is drawn with minute slowness; but then we also have catastrophes which trigger drastic changes – the impact of a meteorite – followed by periods that bear little or no resemblance to what went before.

Is the rapid increase in greenhouse gases one of these catastrophes? Before the industrial age, atmospheric concentrations of CO<sub>2</sub> were around 280 parts per million (ppm); in 2017 we will reach 408 ppm. Marten Scheffer, who showed that ecosystems pressured by slow-moving forces can change suddenly and radically, and his colleagues Gene Likens, James Hansen and Syukuro Manabe warn that if this figure is not reduced the planet will suffer irreversible alteration. And the time to act is now, although there may be no drum roll announcing the imminence of change. The last time there was this much CO<sub>2</sub> in the atmosphere was some five million years ago, when sea level was at least six meters higher than today.

Nor can we underestimate the changes flowing from the achievements recognized in other award categories. The work done by Geoffrey Hinton, creator of programs enabling computers to “learn how to learn,” invites us to reflect on a future of “intelligent” machines taking over

the workplace. And there is debate too surrounding CRISPR/Cas9, developed by Emmanuelle Charpentier, Jennifer Doudna and Francisco Mojica. This powerful gene editing technique has the potential to prevent disease, but also to modify the human germline.

This kind of dilemma crops up frequently in history. The pursuit of knowledge often takes unexpected twists, from which new challenges emerge in turn. But of course knowledge also produces long-sought-after changes. The awards do not neglect this aspect, present in the recognition extended to Pedro Alonso and Peter Myler. Their efforts shed light on a depressing truth: in the 21st century, millions still die of diseases that are curable.

Prioritizing the fight against these infectious conditions also means taking the right decisions. Decisions, for instance, about giving the least advantaged access to the tools underpinning the advances mentioned here – among them, the all-important statistical techniques created by David Cox and Bradley Efron. And decisions on how to equip countries with the high-quality institutions that, as Daron Acemoglu has shown, are a lever for development.

Much has been said about scientists’ responsibility for the changes emanating from their work. And the only clear conclusion is that building the future is the work of all members of society. The jury stresses composer Sofia Gubaidulina’s preparedness to “follow her conscience despite extremely difficult political circumstances,” with a courage that shines through in “the transformative dimension” of her music. Her example is an inspiration not only for artists.

«Me emociona que CRISPR pueda servir para combatir el cáncer y otras enfermedades genéticas.»

“I am thrilled that CRISPR might serve to treat cancer and other genetic disorders.”

Emmanuelle Charpentier

«Quiero asegurarme de que las futuras aplicaciones de esta tecnología tengan en cuenta su potencial para afectar al futuro de nuestro planeta.»

“I want to be sure that the future applications of this technology take into account their potential to affect the future of our planet.”

Jennifer Doudna

«Cada proyecto de ciencia básica es un árbol del que sale no un fruto, sino muchos.»

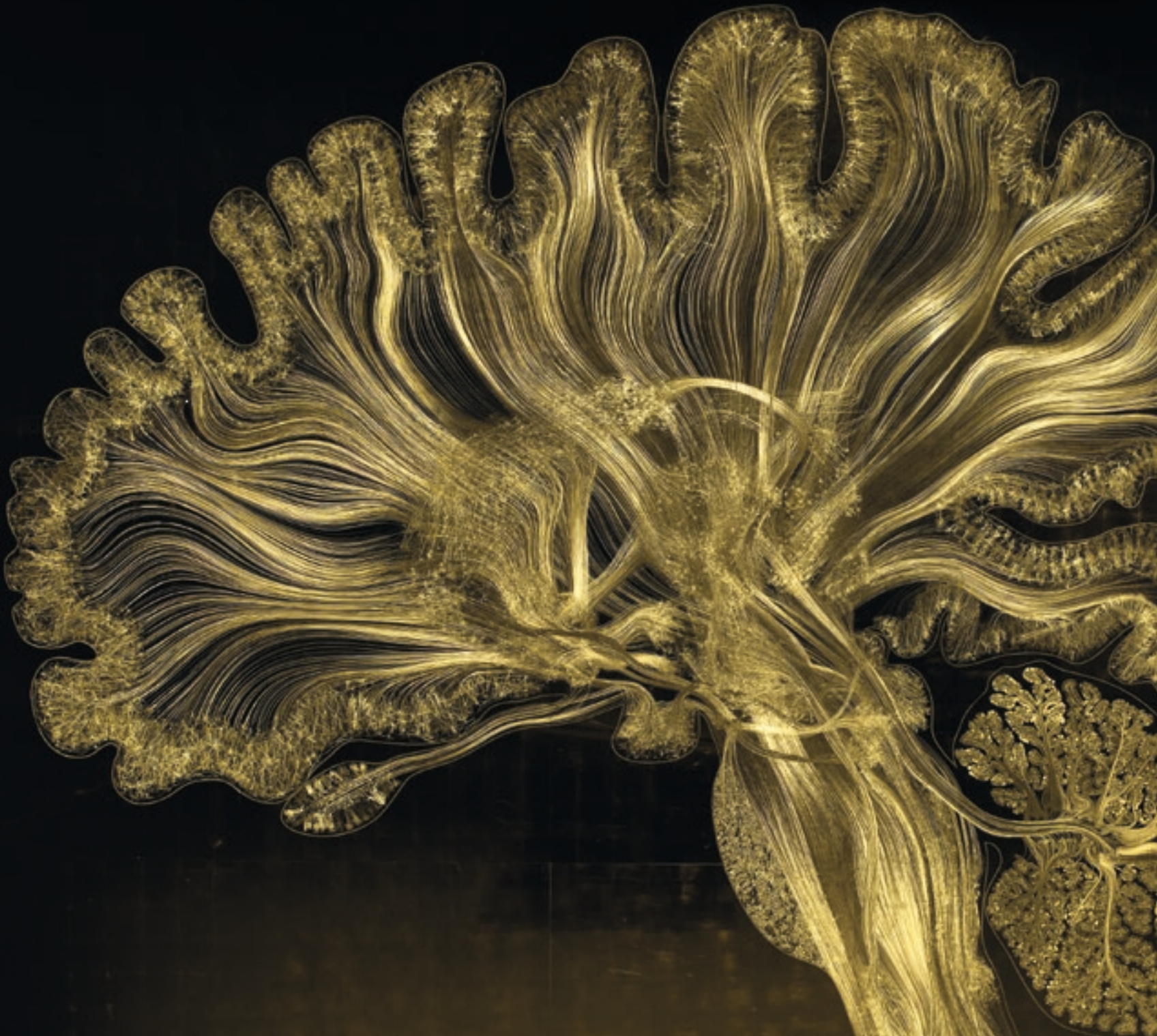
“Each basic science project is a tree that yields not one but many fruits.”

Francisco J. Martínez Mojica



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Biomedicina**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Biomedicine**







# Emmanuelle Charpentier

## Jennifer Doudna

## Francisco J. Martínez Mojica

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Biomedicina**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Biomedicine**

27

### La revolución del *corta y pega* genético

En los últimos tiempos el biólogo Francisco Martínez Mojica ha perdido parte de su tranquilidad. Le llaman periodistas, le invitan a congresos en todo el mundo... «¡No tengo tiempo de pensar tranquilamente!», comenta. Sus colegas Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier sufren un mal parecido. Doudna, en un reciente artículo en la revista *Nature* sobre el «año vertiginoso» que estaba viviendo, habló de su insomnio.

Para estos tres científicos esta situación es la nota agrisulca de uno de los éxitos de mayor impacto de la ciencia moderna llamado CRISPR: una tecnología nacida de la más pura ciencia básica —la que está impulsada únicamente por el afán de conocimiento— que permite modificar el genoma con gran precisión. Son en gran medida los hallazgos de Charpentier, Doudna y Martínez Mojica los que han hecho posible esta técnica que *corta y pega* secuencias de ADN mucho más eficientemente que los métodos anteriores, y por ello los tres comparten el Premio Fronteras del Conocimiento en Biomedicina.

Los cambios que CRISPR ha traído a la vida de sus *padres* son proporcionales a los que está provocando en la biología en general, y también a los que podría generar en toda la sociedad en un no tan lejano futuro. CRISPR/Cas9 —su nombre completo— se está difundiendo con una rapidez insólita.

En 2005, Francisco J. Martínez Mojica (Elche, España, 1963) publicó el descubrimiento que desató la revolución CRISPR. En junio de 2012 Emmanuelle Charpentier (Juvisy-sur-Orge, Francia, 1968) y Jennifer Doudna (Washington D.C., Estados Unidos, 1964) hallaron cómo usarlo para cortar y pegar ADN. Solo unos meses después, en lo que Doudna ha con-

### The revolution of genetic “cut and paste”

Biologist Francisco Martínez Mojica’s life has become less tranquil of late. He gets called by journalists, invited to speak at congresses all round the world... “I have no time to just think quietly!” he complains. His colleagues Jennifer Doudna and Emmanuelle Charpentier have suffered a similar misfortune. Doudna spoke about her insomnia in a recent article in *Nature* on the “whirlwind year” she had been living through.

For these three scientists, this is the bittersweet aftertaste of one of the most impactful successes in modern science; a technology known as CRISPR, born from basic research of the purest kind – driven wholly by the spirit of inquiry – which facilitates genome modification with an unprecedented precision. The findings of Charpentier, Doudna and Martínez Mojica were instrumental in arriving at this technique, which allows to “cut and paste” DNA sequences far more efficiently than with earlier methods, and it is for this achievement that the three now receive the Frontiers of Knowledge Award in Biomedicine.

The changes that CRISPR has wrought in the lives of its “parents” are proportional to those it has ignited across the biology field, and those it may bring about in the whole of society in the not too distant future. Use of the technique, full name CRISPR/Cas9, continues to spread like wildfire.

In 2005, Francisco J. Martínez Mojica (Elche, Spain, 1963) published the discovery that ushered in the CRISPR revolution. In June 2012, Emmanuelle Charpentier (Juvisy-sur-Orge, France, 1968) and Jennifer Doudna (Washington DC, United States, 1964) found out how to use it to cut and paste DNA. And just a few months later, in what Doudna describes as an in-

La tecnología CRISPR permite modificar el genoma de forma mucho más precisa y eficiente que los métodos ya existentes. Nacida de la más pura ciencia básica, su uso se extiende por laboratorios de todo el mundo con tal rapidez que ya ha dado pie a nuevos tratamientos contra el cáncer actualmente en ensayo.

CRISPR technology allows to modify the genome far more precisely and efficiently than with any previous method. A product of basic science of the purest kind, its use has spread through the world's laboratories at breakneck speed and has already paved the way for anti-cancer treatments currently in clinical trial.

siderado un indicio «de la pronta llegada del tsunami», una decena de grupos exploraban la técnica. Hoy miles de laboratorios en todo el mundo usan CRISPR/Cas9 e incluso ya se ha empezado a ensayar su aplicación en humanos —en tratamientos contra varios tipos de cáncer—. Es difícil encontrar en la historia de la ciencia un viaje tan veloz del laboratorio al enfermo.

El punto de partida fue la curiosidad. Francisco Juan Martínez Mojica es microbiólogo en la Universidad de Alicante (España). En 1989, al tiempo que trabajaba midiendo la calidad del agua de las playas alicantinas, comenzó su tesis doctoral sobre un microorganismo aislado en las salinas de Santa Pola, *Haloferax mediterranei*. Mojica observó en el genoma de este organismo algo curioso: una serie de secuencias genéticas que se repetían a intervalos regulares. Nada en la literatura científica explicaba la función de esta rareza, y Mojica, intrigado, tuvo que esperar a tener su propio laboratorio para intentar averiguarlo. Sin obtener para ello financiación específica —algo «comprensible», afirma, dado el carácter «tan elemental de una investigación que no sabes dónde te va a llevar»—. El joven microbiólogo buscó en las bases de datos de información genómica y descubrió que en el mundo microbiano abundan las secuencias repetidas a intervalos regulares. Eso sugería «una gran relevancia biológica». La curiosidad de Mojica se volvió feroz.

El «momento más feliz, con mucha diferencia», de la vida científica de Mojica llegó en 2003 cuando por fin descubrió la verdadera naturaleza de CRISPR: un mecanismo de defensa de los microorganismos contra los virus, algo que ni siquiera se sospechaba pudiera existir. Mojica se dio cuenta de que entre las secuencias de ADN repetidas lo que hay son fragmentos del genoma de los invasores, firmas moleculares que permitirán reconocerlos si atacan de nuevo. Es decir, una vacuna genética. «El descubrimiento de que los microorganismos tienen un sistema de defensa, como nosotros, fue sorprendente», dice Mojica. El hallazgo no se publicó hasta 2005 tras haber sido rechazado, sin siquiera mandarlo a revisión, por revistas de gran prestigio como *Nature* y *PNAS*.

«The coming tsunami», there were a dozen groups exploring the technique. Now thousands of laboratories around the world have CRISPR/Cas9 as part of their arsenal, and tests have even begun on its application in humans as a treatment for various types of cancer. In the history of science, it is hard to find cases of such a swift journey from the lab bench to the patient.

The starting point was curiosity. Francisco Juan Martínez Mojica is a microbiologist at the University of Alicante (Spain). In 1989, while working on a project to measure water quality along the region's beaches, he began his PhD thesis on a microorganism isolated in the salt marshes of Santa Pola, *Haloferax mediterranei*. Mojica observed something strange in its genome: a series of genetic sequences repeating at regular intervals. There was nothing in the scientific literature to explain this oddity, and Mojica, intrigued, had to wait to have his own laboratory before trying to find out. Unable to obtain specific funding —“understandably,” he concedes, given the “elementary nature of a project that could go anywhere at all” — the young microbiologist began sifting through genomic databases, and discovered that regularly spaced repeat sequences occurred abundantly throughout the microbial world. This hinted at “major biological relevance.” And Mojica's curiosity became obsession.

The “happiest moment by far” in Mojica's scientific life came in 2003, when he finally uncovered the true nature of CRISPR: a defense mechanism microorganisms use to fend off viruses, something whose existence was entirely unsuspected. Mojica realized that the spaces between the repeat sequences carried fragments of the aggressor species' genome; molecular signatures that could be recognized if they attacked again. In other words, a genetic vaccine. “The discovery that microorganisms, like us, are equipped with a defense system was just astounding,” Mojica recalls. The finding was not published until 2005, after leading journals like *Nature* and *PNAS* rejected the paper without sending it out for review.

Numerous groups immediately began competing to elucidate CRISPR's exact mode of functioning. Charpentier, now at the Max Planck Institute for Infection



Numerosos grupos se lanzaron a desentrañar el funcionamiento exacto de CRISPR. Charpentier, en la actualidad en el Instituto Max Planck de Biología de la Infección (Berlín, Alemania) y en la Universidad de Umeå (Suecia), descubrió una molécula clave en el sistema CRISPR/Cas9, y para conocer su estructura tridimensional contactó con Doudna, una reconocida experta de la Universidad de California (Berkeley, Estados Unidos). Ambas decidieron colaborar entre sí. En 2012 reprodujeron artificialmente el sistema, y demostraron que es «una potente herramienta de edición genómica que puede ser programada para reconocer cualquier fragmento de ADN», explica Charpentier.

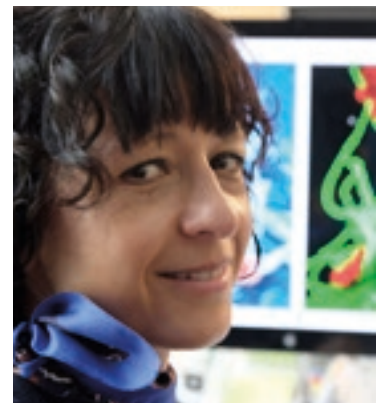
En la naturaleza, el mecanismo CRISPR/Cas9 destruye a los invasores cortando su ADN con la enzima Cas9 que actúa de tijera molecular. En el laboratorio, el ADN vírico que en CRISPR sirve para reconocer al enemigo es sustituido por otro fragmento guía, que lleva las tijeras a una región específica del genoma. Se obtiene así un método que corta el ADN con altísima precisión y además lo vuelve a pegar, introduciendo secuencias nuevas si se desea.

La relativa sencillez y altísima eficacia de la técnica es el secreto de su éxito, aunque también lo que quitó el sueño a Doudna: ¿Y si la técnica se usara en células germinales o en embriones humanos para crear alteraciones hereditarias? Esta investigadora se ha convertido en una activa promotora de la divulgación y discusión pública de las aplicaciones de la edición del genoma «tras largas noches en vela», según sus propias palabras, «preguntándome si debía quedarme al margen de la tormenta ética en torno a la tecnología que había contribuido a crear».

Biology (Berlin, Germany) and the University of Umeå (Sweden), identified a key molecule in the CRISPR/Cas9 system. Her attempts to solve its three-dimensional structure brought her into contact with Doudna, a reputed expert at the University of California, Berkeley (United States), and the two decided to join forces. In 2012 they managed to artificially reproduce the system, showing, as Charpentier explains, that it is “a powerful genome-editing tool that can be programmed to recognize any fragment of DNA.”

In nature, CRISPR/Cas9 destroys the attackers by slicing their DNA, with the Cas9 enzyme as the molecular scissors. In the lab, the viral DNA that CRISPR uses to recognize the enemy is replaced by another guide fragment, which steers the scissors to a specific genome region. The result is a technique that not only cuts DNA with exquisite precision, but also pastes it back in, along with new sequences if so desired.

The relative ease and superior effectiveness of the technique is the secret of its success, and also what keeps Doudna awake at night: What if it were used in germ cells or human embryos, to create heritable alterations? The scientist has become an active promoter of education and debate about the applications of genome editing, after “long sleepless nights wondering if I should stay clear of the ethical storm around the technology I helped create.”



Más información:



More information:





**Angelika Schnieke**

**Presidenta del jurado**

Catedrática de Biotecnología Animal en el Departamento de Ciencias Animales de la Universidad Tecnológica de Múnich (Alemania), ha trabajado en la industria biotecnológica y en centros de investigación en Reino Unido, Estados Unidos, Suiza y Alemania. Su trabajo ha sido determinante para la clonación de la oveja Dolly y la producción del primer animal de granja mediante *gene targeting*. Su investigación abarca la producción de proteínas terapéuticas en animales grandes, células madre animales, xenotrasplante y animales genéticamente modificados para investigación.

**Chair of the jury**

Chair of Livestock Technology in the Department of Animal Sciences at the Technical University of Munich (TUM) (Germany), she has worked in the biotechnology industry and research centers in the United Kingdom, United States, Switzerland and Germany. Her work was instrumental in the cloning of Dolly the sheep and production of the first gene-targeted livestock animal. Her research topics include the production of pharmaceutical proteins in large animals, animal stem cells, xenotransplantation and genetically defined animal models for research.



**Óscar Marín**

**Secretario del jurado**

Es catedrático de Neurociencias y director del Centro de Neurobiología del Desarrollo, un proyecto del Consejo de Investigación Médica británico en el King's College de Londres. Su investigación trata de comprender el desarrollo del córtex cerebral y las bases biológicas de trastornos del neurodesarrollo como el autismo o la esquizofrenia. Es miembro del Board of Reviewing Editors de la revista *Science* y de otros consejos editoriales, y premio Jaime I de Investigación Básica y premio Roger de Spoelberch, entre otras distinciones.

**Secretary of the jury**

Professor of Neuroscience and Director of the MRC Centre for Developmental Neurobiology, a unit of the UK's Medical Research Council at King's College London. His research aims at an understanding of the development of the cerebral cortex, and the biological bases of neurodevelopmental disorders such as autism and schizophrenia. A member of the Board of Reviewing Editors of *Science* and other editorial boards, his distinctions include the Rey Jaime I Award in Basic Research and the Roger de Spoelberch Prize.



**Dario Alessi**

Es director de la Unidad de Fosforilación y Ubicuitilación de Proteínas, un proyecto del Consejo de Investigación Médica británico en la Facultad de Ciencias de la Vida de la Universidad de Dundee (Reino Unido). Investiga sobre transducción de señales relevantes para comprender el cáncer, la diabetes y los trastornos neurodegenerativos: las alteraciones de la fosforilación proteínica aparece vinculada a este tipo de enfermedades. Autor de más de doscientas publicaciones, es *fellow* de la Royal Society además de Francis Crick Prize Lecture, y obtuvo la Medalla de Oro de la Organización Europea de Medicina Molecular (EMBO).

Director of the Protein Phosphorylation and Ubiquitylation Unit, a Medical Research Council unit in the College of Life Sciences at Dundee University (United Kingdom). The focus of his research is medical signal transduction of relevance to understanding cancer, diabetes and neurodegenerative disorders, where abnormal protein phosphorylation may be a cause or consequence. Author of over 200 papers, he is a Fellow of the Royal Society, which awarded him its Francis Crick Prize Lectureship, and holds the Gold Medal of the European Molecular Biology Organization (EMBO).



**Lélia Delamarre**

Es jefa de grupo en el Departamento de Inmunología del Cáncer de Genentech (Estados Unidos). Su investigación se centra en la modulación de las funciones de las células dendríticas y las células T. Su grupo ha contribuido a identificar mutaciones del cáncer (o neoantígenos) que generan inmunidad tumoral y ha desarrollado una estrategia para detectar posibles neoantígenos que combina secuenciación completa del genoma con espectrometría de masas y predicción estructural. Los neoantígenos han empezado a utilizarse en monitorización de la inmunoterapia oncológica y en vacunas.

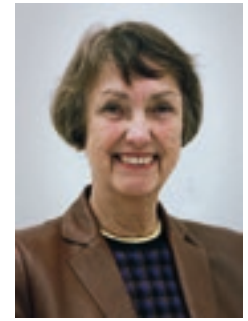
Group leader in the Department of Cancer Immunology at biotech company Genentech (United States), her research focuses on the modulation of dendritic and T-cell functions. Her group recently contributed to the identification of cancer mutations (or neoantigens) as drivers of tumor immunity, and developed a novel strategy to select neoantigen candidates that combine whole genome sequencing and mass spectrometry, along with structural prediction. Neoantigens are now being used for the development of immune monitoring tools in cancer immunotherapy, and the design of novel vaccines.



**Robin Lovell-Badge**

Es director del Laboratorio de Biología de las Células Madre y Genética del Desarrollo del Instituto Francis Crick (Reino Unido). Investiga en las vías genéticas que inducen las diferencias hombre-mujer. Además estudia el desarrollo del sistema nervioso y la biología de las células madre en el embrión, el sistema nervioso central y la pituitaria. Autor de más de doscientos artículos, revisiones y comentarios, es *fellow* de la Royal Society y miembro del Consejo de Dirección de la Public Library of Science (PLOS).

Head of the Laboratory of Stem Cell Biology and Developmental Genetics at the Francis Crick Institute (London, United Kingdom), his research focuses on the genetic pathways leading to male-female differences. He is also interested in the development of the nervous system, and the biology of stem cells within the early embryo, the central nervous system and the pituitary. Author of over 200 papers, reviews and commentaries, he is a Fellow of the Royal Society, and a member of the Board of Directors of the Public Library of Science (PLOS).



**Ursula Ravens**

Es catedrática senior del Departamento de Fisiología de la Universidad Tecnológica de Dresde (Alemania). Autora de más de doscientos ochenta artículos en revistas internacionales, es pionera en el estudio de la electrofisiología del corazón y la utilización de células madre para la regeneración del músculo cardíaco, el tratamiento farmacológico de la vejiga hiperactiva y el síndrome del tracto urinario inferior. Es miembro del consejo editorial de revistas como el *Journal of Cardiovascular Pharmacology* y *fellow* de la Asociación Americana del Corazón, entre otras distinciones.

Senior Professor in the Department of Physiology at the Technical University of Dresden (TUD), (Germany). Author of over 280 papers in international journals, alongside her pioneering work in cardiac electrophysiology, she has researched into the use of stem cells to regenerate cardiac muscle and the pharmacological treatment of hyperactive bladder and lower urinary tract syndrome. She sits on the editorial boards of publications like the *Journal of Cardiovascular Pharmacology* and is a Fellow of the American Heart Association, among other distinctions.



**Ali Shilatifard**

Dirige el Departamento de Bioquímica y Genética Molecular de la Universidad de Northwestern (Estados Unidos) y es catedrático Robert Francis Furchgott. Investiga en la biología de la cromatina y de la transcripción, así como en la leucemia, y es autor de estudios pioneros en epigenética. Es *senior editor* de la revista *Science*, *deputy editor* en *Science Advances*, y pertenece al Board of Reviewing Editors de *eLife*, entre otras. Entre sus numerosos reconocimientos figura el National Cancer Institute Outstanding Investigator Award y el Martin E. and Gertrude G. Walder para la investigación de excelencia.

Chair of the Department of Biochemistry and Molecular Genetics at Northwestern University, (United States) where he is also Robert Francis Furchgott Professor. He is a leader in the field of chromatin and transcription biology and leukemia research, and author of pioneering work in epigenetics. Senior Editor for the journal *Science* and Deputy Editor for *Science Advances*, as well as belonging to the Board of Reviewing Editors of *eLife*, he holds numerous distinctions including the National Cancer Institute Outstanding Investigator Award and the Martin E. and Gertrude G. Walder Award for Research Excellence.



**Bruce Whitelaw**

Es director adjunto y jefe de la División de Biología del Desarrollo del Instituto Roslin y titular de la Cátedra Genus de Biotecnología Animal en la Royal (Dick) School of Veterinary Studies de la Universidad de Edimburgo (Reino Unido). Pionero en el uso de virus en técnicas transgénicas, investiga una metodología robusta de manipulación del genoma (*genome editing*) en biotecnología ganadera para obtener tratamientos de enfermedades infecciosas en animales y ensayar nuevas terapias para enfermedades humanas. Es editor jefe de *Transgenic Research* y ha trabajado con la Organización Mundial de Sanidad Animal.

Deputy Director and Head of the Developmental Biology Division at The Roslin Institute and Genus Chair of Animal Biotechnology in the Royal (Dick) School of Veterinary Studies at the University of Edinburgh (United Kingdom). A pioneer in the use of lentivirus vectors for transgene delivery, he is now working on a robust methodology for genome editing in livestock, in order to combat infectious disease in animals and evaluate new treatments for human disease. Editor-in-Chief of *Transgenic Research*, he has worked with the World Organization for Animal Health.

## Jurado

### Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento Biomedicina

## Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Biomedicina ha sido concedido en su novena edición a Emmanuelle Charpentier, Jennifer Doudna y Francisco J. Martínez Mojica, por hacer posible la revolución biológica creada por las técnicas CRISPR/Cas9.

Martínez Mojica identificó la secuencia CRISPR en microorganismos y descubrió que se trataba de un sistema de defensa contra los virus; Charpentier y Doudna elucidaron el mecanismo molecular de funcionamiento de CRISPR/Cas9 y demostraron que tenía un uso potencial como herramienta universal de edición genómica, abriendo así la puerta a multitud de aplicaciones en prácticamente cualquier organismo.

La edición genómica implica cortar el ADN en una ubicación determinada y su subsiguiente reparación por la propia maquinaria celular, que puede ser empleada para llevar a cabo mutaciones precisas, añadir secuencias o sustituir una secuencia por otra. La simplicidad y versatilidad del sistema CRISPR/Cas9 ha llevado a su rápida adopción en laboratorios de todo el mundo como herramienta para comprender la función de los genes y los sistemas biológicos, y como medio para tratar multitud de enfermedades.

## Jury

### BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award Biomedicine

## Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Biomedicine goes, in this ninth edition, to Emmanuelle Charpentier, Jennifer Doudna and Francisco J. Martínez Mojica, for work that led to the revolution in biology permitted by CRISPR/Cas9 techniques.

Martínez Mojica identified CRISPR sequences in bacteria and postulated their role as an adaptive defense system against viruses; Charpentier and Doudna elucidated the molecular mechanism of CRISPR/Cas9 action and demonstrated its potential use as a universal tool for genome editing, paving the way for a multitude of applications in essentially any organism.

Genome editing involves the cutting of DNA at a designated location and its subsequent repair by the cell's own machinery, which can be harnessed to make precise mutations, to add sequences or to substitute one sequence for another. The simplicity and versatility of the CRISPR/Cas9 system have led to its rapid adoption in laboratories throughout the world as a tool to understand gene function and biological systems, and as a way to treat disease.

«Es muy importante que actuemos con firmeza contra la contaminación.»

“It is very important that we deal aggressively with pollutants.”

Gene E. Likens

«Podemos avanzar a escala local para aumentar la resistencia de los ecosistemas al cambio climático.»

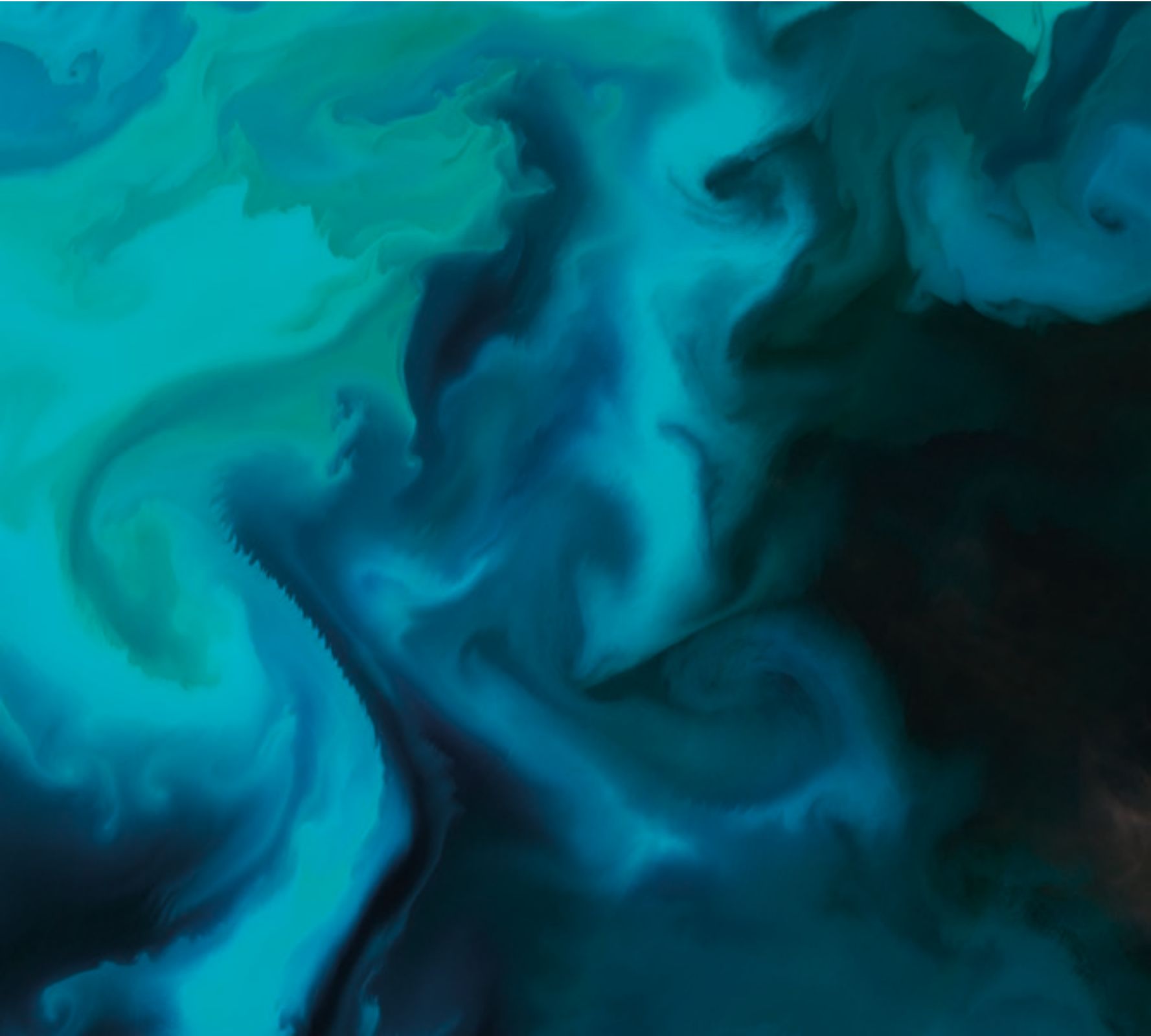
“Locally things can be done to make ecosystems more resilient to climate change.”

Marten Scheffer



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Ecología y Biología de la Conservación**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Ecology and Conservation Biology**





# Gene E. Likens

## Marten Scheffer

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Ecología y Biología de la Conservación**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Ecology and Conservation Biology**

35

### Intérpretes del impacto humano en los ecosistemas

«Desde el principio de los tiempos, la humanidad ha tratado de entender el mundo a través de los rituales y la religión, pero ahora tenemos algo mejor: la ciencia». Estas palabras de Scheffer ilustran el valor que este ecólogo otorga al conocimiento e indirectamente inducen a tomar en serio afirmaciones suyas como esta otra: «Nuestras decisiones de hoy afectarán a muchas generaciones futuras». Marten Scheffer (Ámsterdam, Países Bajos, 1958) no es un alarmista exagerado, simplemente habla de lo que sabe. Su trabajo ha desvelado que la acción humana expone a ecosistemas como la selva amazónica, el Ártico o, más cerca de casa, las marismas de Doñana, a un riesgo de colapso repentino con los consiguientes efectos potencialmente irreversibles para todo el planeta.

Otro descubrimiento con grandes implicaciones para el futuro es el de Gene E. Likens (Indiana, Estados Unidos, 1935). En los años sesenta, mientras investigaba los lagos de un bosque en New Hampshire en apariencia alejado de toda contaminación, Likens detectó que la lluvia era allí cien veces más ácida de lo esperado. «Fue una sorpresa. Desconocíamos qué extensión estaba afectada, y nos llevó mucho tiempo identificar las causas del fenómeno», explica. Su logro alertó al mundo sobre la gravedad del problema de la lluvia ácida, y espoleó los esfuerzos por paliarlo.

Ambos ecólogos reciben el Premio Fronteras del Conocimiento en Ecología y Biología de la Conservación por contribuir a lo que para el jurado del premio es «uno de los principales desafíos» en el esfuerzo por cuidar la naturaleza: comprender y predecir la reacción de los ecosistemas a las alteraciones provocadas por la actividad humana. Las contribuciones de Likens y Scheffer sirven hoy de guía en la toma de

### Interpreting the human impact on ecosystems

“Since the dawn of time, humanity has tried to understand the world through rituals and religion, but now we have something better: science.” These words by ecologist Marten Scheffer testify to the importance he places on knowledge, and indirectly add weight to his warning that “the decisions we take now will affect the lives of many generations to come.” Scheffer (Amsterdam, Netherlands, 1958) is no alarmist; he is simply expressing what he knows to be true. His research has revealed that human activity exposes ecosystems like the Amazon rainforest, the Arctic or, closer to home, the Doñana wetlands, to the risk of sudden collapse, with potentially irreversible consequences for the planet.

Another call to action for our collective future was the work of Gene E. Likens (Indiana, United States, 1935). In the 1960s, while studying supposedly unspoiled forest lakes in New Hampshire, Likens detected acidity levels in rainwater samples a hundred times greater than expected. “It was quite a shock. We didn’t know the causes of the problem, or how far it might extend,” he relates, “and it took us a long time to identify the causes.” His findings alerted the world to the seriousness of the acid rain problem, and hastened the adoption of measures to allay the threat.

The two ecologists share the Frontiers of Knowledge Award in Ecology and Conservation Biology for contributing decisively to what the jury describes as “one of the major challenges” in environmental conservation: to understand and anticipate ecosystem responses to human-induced alterations of the natural environment. Likens and Scheffer’s contributions now inform decision-making at every level, as well as finding practical application in ecosystem management and restoration.



Las contribuciones de Likens y Scheffer ayudan a predecir el impacto humano sobre los ecosistemas e informan las actuales políticas de conservación. Scheffer demostró que ecosistemas como la Amazonia o el Ártico pueden sufrir cambios potencialmente irreversibles debido a la acción humana con efectos muy graves para el planeta. Likens es el descubridor del impacto global de la lluvia ácida.

The work done by Likens and Scheffer has helped predict ecosystem responses to human-induced alterations, and has also informed the content of today's conservation policies. Scheffer showed that human action can trigger potentially irreversible changes in ecosystems like Amazonia or the Arctic, with grave consequences on a planetary scale. Likens discovered the global impact of acid rain.

decisiones, y están siendo ya aplicadas a la gestión y restauración de ecosistemas.

El hallazgo de Likens, presidente fundador del Cary Institute of Ecosystem Studies, en Nueva York, se considera uno de los primeros trabajos científicos con impacto en la legislación ambiental. Cuando lo publicó en 1974 en la revista *Science*, Likens escribió: «Hoy en día conocemos solo algunos de los efectos ecológicos y económicos de esta introducción generalizada de potentes ácidos en los sistemas naturales, pero estos efectos sin duda deben ser tenidos en cuenta a la hora de proponer nuevas fuentes energéticas y en la definición de estándares de calidad en las emisiones».

La causa de la acidez de las precipitaciones está en la quema de combustibles fósiles, que genera óxidos de nitrógeno y azufre que la química atmosférica transforma en ácidos. Estos compuestos pueden desplazarse a miles de kilómetros de su lugar de origen, de forma que también las regiones supuestamente prístinas se ven afectadas. Nadie duda ya de la gravedad del fenómeno. La acidez es letal para muchos anfibios y peces, empobrece los suelos, perjudica la salud de las plantas y reduce las cosechas.

Las recomendaciones del trabajo de Likens quedaron plasmadas en las *Clean Air Act Amendments* estadounidenses de 1990, responsables en gran medida de que en este país las precipitaciones sean hoy un ochenta por ciento menos ácidas que hace cinco décadas. Likens, sin embargo, no se muestra triunfalista: «La lluvia ácida ha estado cayendo durante muchos años y eso ha hecho que los suelos sean mucho más sensibles a otros impactos». Además en otras partes del mundo, como la India, el fenómeno sigue en aumento.

También el trabajo de Marten Scheffer, catedrático de la Universidad de Wageningen, en los Países Bajos, es útil para la gestión ambiental. Demostró que efectivamente, tal como había sido postulado, cuando los ecosistemas cambian pueden llegar a superar unos *tipping points*, o puntos de inflexión, en que sus condiciones varían de manera drástica y potencialmente irreversible. En la actual era, el principal agente que empuja a los ecosistemas a cambiar —y hacia

Likens is the founding president of the Cary Institute of Ecosystem Studies in New York. And the paper describing his results is considered one of the first scientific publications to usher in successful environmental legislation. When it appeared in *Science* in 1974, Likens wrote: “Only some of the ecological and economic effects of this widespread introduction of strong acids into natural systems are known at present, but clearly they must be considered in proposals for new energy sources and in the development of air quality emission standards.”

Rain becomes acidic when the burning of fossil fuels produces sulfur and nitrogen oxides which atmospheric chemistry then transforms into acids. These compounds can travel thousands of kilometers from their place of origin, even affecting otherwise pristine regions. There is no doubting the severity of the problem. Acidity is not only lethal for many amphibians and fishes but also degrades soil quality, affects plant health and lowers crop yields.

The recommendations of Likens' paper were taken on board in the U.S. Clean Air Act Amendments of 1990, the main reason why the country's rainfall is now 80 percent less acid than fifty years ago. Likens, though, is very far from crying victory: “Acid rain has been falling for many years, which has made the soil far more sensitive to other impacts.” And in other world regions, like the Indian sub-continent, the problem is getting worse.

Marten Scheffer, a professor at Wageningen University in the Netherlands, has also seen his work put to use in environmental management. It was he who showed that, as many had suspected, ecosystem change can reach a tipping point that propels the system to drastic and at times irreversible change. In our modern world, the trigger for such shifts is almost invariably human action.

The confirmation of these tipping points in ecosystem evolution came when the Dutch scientist was studying lakes that had turned turbid due to agricultural fertilizers. Scheffer was able to prove that even reducing the pollutant load failed to restore the lakes to their original state. Under the effect of the agrochemicals,

un posible *tipping point*— es la acción humana. El hallazgo de los puntos de inflexión en la evolución de los ecosistemas se produjo cuando Scheffer investigaba lagos que se habían vuelto turbios por los fertilizantes agrícolas. Observó que por mucho que se redujeran los contaminantes, las aguas no recuperaban su transparencia: el ecosistema, alterado por los agroquímicos, había alcanzado un nuevo punto de estabilidad que se resistía a abandonar.

Scheffer considera, no obstante, que la existencia de los *tipping points* puede convertirse en una buena noticia: «Una vez que entiendes cómo funcionan, puedes usarlos en tu favor», observa, «aprovechándolos para salir de una situación indeseada». En el caso de los lagos, por ejemplo, el concepto de *tipping point* hizo ver que para recuperar las aguas límpidas se necesitaba una auténtica «terapia de choque» —en palabras del propio Scheffer. En efecto, la medida drástica pero eficaz que hoy se emplea consiste nada menos que en extraer los peces del lago.

Recientemente, Marten Scheffer ha aplicado su modelo a las marismas de Doñana, el lugar de invernada más importante en Europa de aves acuáticas, con más de medio millón de ejemplares. Sus conclusiones dan pistas para fortalecer las marismas ante el cambio climático. En concreto, una de las mayores amenazas para Doñana son las toxinas de cianobacterias, que aumentan con los fertilizantes de los cultivos cercanos de fresas y también con el calor. En un escenario de subida de temperaturas, la estrategia debería ser reducir los fertilizantes. «La gestión local tiene un papel muy importante», asegura Scheffer.

the ecosystem had transitioned to a new equilibrium that resisted changing back again.

Scheffer believes, however, that the existence of tipping points can work in nature's favor. "Once you understand how they work, you can harness them," he explains, "to escape from an unwanted situation." In the case of the lakes, for instance, the tipping point concept made it plain that only "shock therapy," as Scheffer puts it, could get the waters clear again. And so it proved. The drastic, but effective measure they arrived at was none other than to empty the lake of all its fish, a solution still in use today.

Recently, Marten Scheffer has applied his model to the Doñana wetlands, Europe's most important wintering site for waterbirds, hosting over half a million individuals. His conclusions provide a template to improve the system's resilience to climate change. Among the greatest threats Doñana faces are the cyanobacteria toxins increasingly present due to both rising temperatures and higher concentrations of the fertilizers used on nearby strawberry crops. With the prospect of hotter weather ahead, the strategy should be reduce such nutrient inputs. And Scheffer is firm in his conviction that "local management has a vital role."



Más información:



More information:





**Emily Bernhardt**

**Presidenta del jurado**

Es catedrática en el Departamento de Biología en la Universidad de Duke (Estados Unidos) y trabaja en biogeoquímica, ecología del ecosistema, ecología acuática, ecología urbana y restauración científica. Además, lidera la investigación del *Macrosystems Program Defining stream biomes to understand and forecast ecosystem change*, que lleva a cabo la Fundación Nacional para la Ciencia (Estados Unidos). Es presidenta de la Society for Freshwater Science y ha recibido el Premio Mercer de la Sociedad Americana de Ecológica, entre otras distinciones.

**Chair of the jury**

Professor in the Department of Biology at Duke University (United States) where she works in biogeochemistry, ecosystem ecology, aquatic ecology, urban ecology and restoration science. She is also Lead Principal Investigator on the *Macrosystems Program "Defining stream biomes to understand and forecast ecosystem change"* currently being carried out by the National Science Foundation. President of the Society for Freshwater Science, her many honors include the Mercer Award of the Ecological Society of America.



**Pedro Jordano**

**Secretario del jurado**

Es profesor de investigación del Departamento de Ecología Integrativa en la Estación Biológica de Doñana, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (Sevilla, España). Su investigación se centra en las consecuencias ecológicas y evolutivas de las interacciones entre plantas y animales para comprender cómo la coevolución conforma comunidades megadiversas, donde los mutualismos planta-animal juegan un papel esencial. Es Mercer Award de la Sociedad Americana de Ecología y director del panel del Consejo de Investigación Europeo para el programa IDEAS (Starting Grants)

**Secretary of the jury**

Research Professor in the Department of Integrative Ecology at the Estación Biológica de Doñana (Sevilla, Spain) of the Spanish National Research Council (CSIC). His research focuses on the ecological and evolutionary consequences of mutualistic interactions between animals and plants, exploring how co-evolution shapes megadiverse communities where such mutualisms play an essential role. He holds the Mercer Award of the Ecological Society of America and chairs the European Research Council panel for the IDEAS Starting Grants program.



**Wilhelm Boland**

Es catedrático del Departamento de Química Bioorgánica del Instituto de Ecología Química Max Planck (Jena, Alemania). Su investigación se centra en la defensa inducida de las plantas y en el secuestro de metabolitos vegetales por los insectos. Desde su primer trabajo, publicado en 1976, es autor de más de trescientos cincuenta artículos científicos. Entre los años 2008 y 2009 fue presidente de la Sociedad Internacional de Ecología Química. Está en posesión de la medalla Hans-Herloff-Inhoffen, que le fue concedida en 2005.

Professor in the Department of Bioorganic Chemistry at the Max Planck Institute for Chemical Ecology (Jena, Germany). His main research topics include the induced defense of plants and the sequestration of plant metabolites by insects. Since his first publication in 1976, he has authored more than 350 scientific papers. President of the International Society for Chemical Ecology for the years 2008 and 2009, he also holds the Hans Herloff Inhoffen Medal, awarded to him in 2005.



**Gerardo Ceballos**

Es catedrático en el Instituto de Ecología y Conservación de la Fauna Silvestre de la Universidad Nacional Autónoma de México. Sus áreas de investigación incluyen la ecología animal, la biogeografía y la conservación de la naturaleza. Entre sus proyectos destacan haber impulsado la Norma Mexicana de Especies en Peligro de Extinción y la creación de reservas en México que abarcan más de dos millones de hectáreas. Entre los reconocimientos a su trayectoria figura el Premio al Servicio Distinguido en Academia de la Sociedad de la Conservación Biológica (Estados Unidos).

Professor in the Instituto de Ecología at the Universidad Nacional Autónoma de México, his research areas are primarily animal ecology, biogeography and nature conservation. Among his achievements, we can cite his work for the passage of Mexico's Endangered Species Act, and for the establishment of nature reserves spanning over two million hectares of national territory. He holds the Distinguished Academic Service Award of the Society for Conservation Biology (United States), among other honors.



**Hanna Kokko**

Es catedrática de Ecología Evolutiva en el Instituto de Biología Evolutiva y Estudios Medioambientales de la Universidad de Zúrich (Suiza). Su investigación se centra en la ecología evolutiva de la reproducción sexual y asexual, el análisis y gestión de las poblaciones animales, la evolución de las estrategias reproductivas y sociales, y la ciencia de la sostenibilidad. Es *fellow* de la Academia Australiana de la Ciencia y ha sido galardonada con el Per Brinck Oikos Award y el Founder's Prize de la Sociedad Ecológica Británica.

Professor of Evolutionary Ecology in the Institute of Evolutionary Biology and Environmental Studies at the University of Zurich (Switzerland). Her research focuses on the evolutionary ecology of sexual and asexual reproduction, analysis and management of animal populations, the evolution of reproductive and social strategies and sustainability science. A Fellow of the Australian Academy of Science, she has been distinguished with the Per Brinck Oikos Award and the Founder's Prize of the British Ecological Society.



**Rik Leemans**

Es catedrático de Análisis de los Sistemas Medioambientales en la Universidad de Wageningen (Países Bajos). Sus áreas de investigación incluyen modelización a nivel global de cambios en el uso del suelo, patrones de cobertura e impactos del cambio climático en la biodiversidad para construir evaluaciones integradas de última generación. Trabaja asimismo en ciclos biogeoquímicos, servicios ecosistémicos, bienestar humano y sostenibilidad. Es fundador y editor jefe de la revista *Current Opinion in Environmental Sustainability*.

Professor of Environmental Systems Analysis at Wageningen University (Netherlands). His research involves modeling global land-cover patterns, and land-use and climate change impacts on biodiversity to arrive at state-of-the-art integrated assessments. He also works on biogeochemical cycles, ecosystem services and human wellbeing and sustainability. Founding Editor-in-Chief of the international journal *Current Opinion in Environmental Sustainability*.





**Guangchun Lei**

Es decano de la Escuela de Conservación de la Naturaleza de la Universidad Forestal de Pekín (China) y vicepresidente del Comité del National Wetland Science. Sus líneas de investigación se centran en la gestión de áreas protegidas, servicios y funcionamientos de ecosistemas de humedales, restauración y monitorización de humedales, conservación de aves migratorias de agua y políticas de la conservación de la naturaleza. Ha sido reconocido con numerosas distinciones, entre las que figuran el WWF International Global Conservation Innovation Award y el China National Forestry Science and Technology Prize.

Dean of the School of Nature Conservation at Beijing Forestry University (China) and Vice Chairman of the National Wetland Science Committee. His main areas of research interest are protected area management, wetland ecosystem function and services, wetland restoration and monitoring, the conservation of migratory water birds and nature conservation policy. He holds numerous distinctions, including the WWF International Global Conservation Innovation Award and the China National Forestry Science and Technology Prize.



**Yonglong Lu**

Es profesor de investigación y codirector de investigación del RCEES (Centro de Investigación de Ciencias Ecoambientales) de la Academia China de Ciencias. Sus áreas de investigación se centran en la evaluación de riesgo de sustancias contaminantes emergentes en regiones ecológicas, ecología regional y urbana, y en la gestión del medioambiente y política. Es editor en jefe fundador de *Ecosystem Health and Sustainability* y editor asociado de *Science Advances* y de *Environmental Development*. Ha recibido el SCOPE Distinguished Achievement Award, entre otros galardones.

Research Professor and Co-Director at the Research Center for Eco-Environmental Sciences (RCEES) of the Chinese Academy of Sciences. His research interests lie in regional ecological risk assessment of emerging pollutants, urban and regional ecology, and environmental management and policy. Editor-in-Chief of *Ecosystem Health and Sustainability* and Associate Editor of *Science Advances* and *Environmental Development*, his honors include the SCOPE Distinguished Achievement Award.

## Jurado

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento

## Ecología y Biología de la Conservación

### Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Ecología y Biología de la Conservación ha sido concedido en su novena edición a Gene E. Likens y a Marten Scheffer. Ambos han aportado, por caminos complementarios, los fundamentos teóricos para nuestra comprensión empírica de los cambios graduales, abruptos y potencialmente irreversibles que sufren los ecosistemas en respuesta a la contaminación y a otros problemas ecológicos.

Gene Likens introdujo el concepto de ciencia integrativa del ecosistema al desarrollar métodos para monitorizar y evaluar trayectorias de cambio de largo plazo. En los comienzos de su carrera estudió los cambios del ciclo de nutrientes en las cuencas forestales y descubrió que la lluvia se estaba volviendo más ácida. Estos hallazgos fueron decisivos para desarrollar políticas efectivas con el fin de reducir el problema, que en Estados Unidos se tradujeron en las *Clean Air Act Amendments* de 1990, que tuvieron un gran impacto en el derecho medioambiental y en la investigación sobre energías limpias.

Gran parte de la incertidumbre al predecir el futuro del medio ambiente deriva de la dificultad para saber cuándo un ecosistema cambiará de modo abrupto. Marten Scheffer ha proporcionado elegantes ejemplos empíricos de sistemas que alcanzan estos puntos de inflexión en sus estudios sobre cómo los lagos poco profundos responden a la contaminación por nutrientes y a la regulación de estos. Su trabajo demostró que poner fin al vertido de contaminantes a los lagos no bastaba, en muchos casos, para restaurarlos, pues la memoria del ecosistema los encauza hacia una nueva trayectoria de cambio. Scheffer ha aplicado esta teoría a otros problemas ambientales como las consecuencias de la pérdida de grandes depredadores y de la sobrepesca en la trayectoria futura, tanto de la función como de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. También ha desarrollado abordajes teóricos para identificar los ecosistemas que están próximos a situaciones de cambios catastróficos y potencialmente irreversibles.

## Jury

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award

## Ecology and Conservation Biology

### Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Ecology and Conservation Biology goes, in this ninth edition, to Gene E. Likens and Marten Scheffer. Both have contributed in complementary ways to developing the theoretical underpinnings as well as understanding empirical patterns of gradual, abrupt and potentially irreversible ecosystem change in response to pollution and other ecological problems.

Gene Likens contributed the concept of integrated ecosystem science by developing methods to monitor and assess long-term trajectories of change. Early in his career, he studied long-term changes in nutrient cycling in forested watersheds, and assembled evidence that rain was becoming more acidic. This science was instrumental to develop effective policies to reduce the acid rain problem, and informed the U.S. Clean Air Act Amendments of 1990, with great impact on environmental law and clean-energy research.

One of the major causes of uncertainty in predicting environmental futures is the difficulty of knowing when ecosystems may shift abruptly into a new state. Marten Scheffer has provided elegant empirical examples of systems reaching these “tipping points” in his studies of how shallow lakes respond to nutrient pollution and nutrient regulations. His work demonstrated that cessation of pollutant inputs to lakes is often insufficient to restore their function and biodiversity, as ecosystem memory sets these lakes onto a new trajectory of change. Scheffer has applied this theory to a wider variety of environmental problems, like the consequences of the loss of large predators and overfishing on the future trajectory of aquatic ecosystem function and biodiversity. He has also developed theoretical approaches to identify ecosystems that are poised for catastrophic and potentially irreversible change.

«Siempre he creído que la única manera de hacer que la inteligencia artificial funcione realmente es tratar de operar como el cerebro humano.»

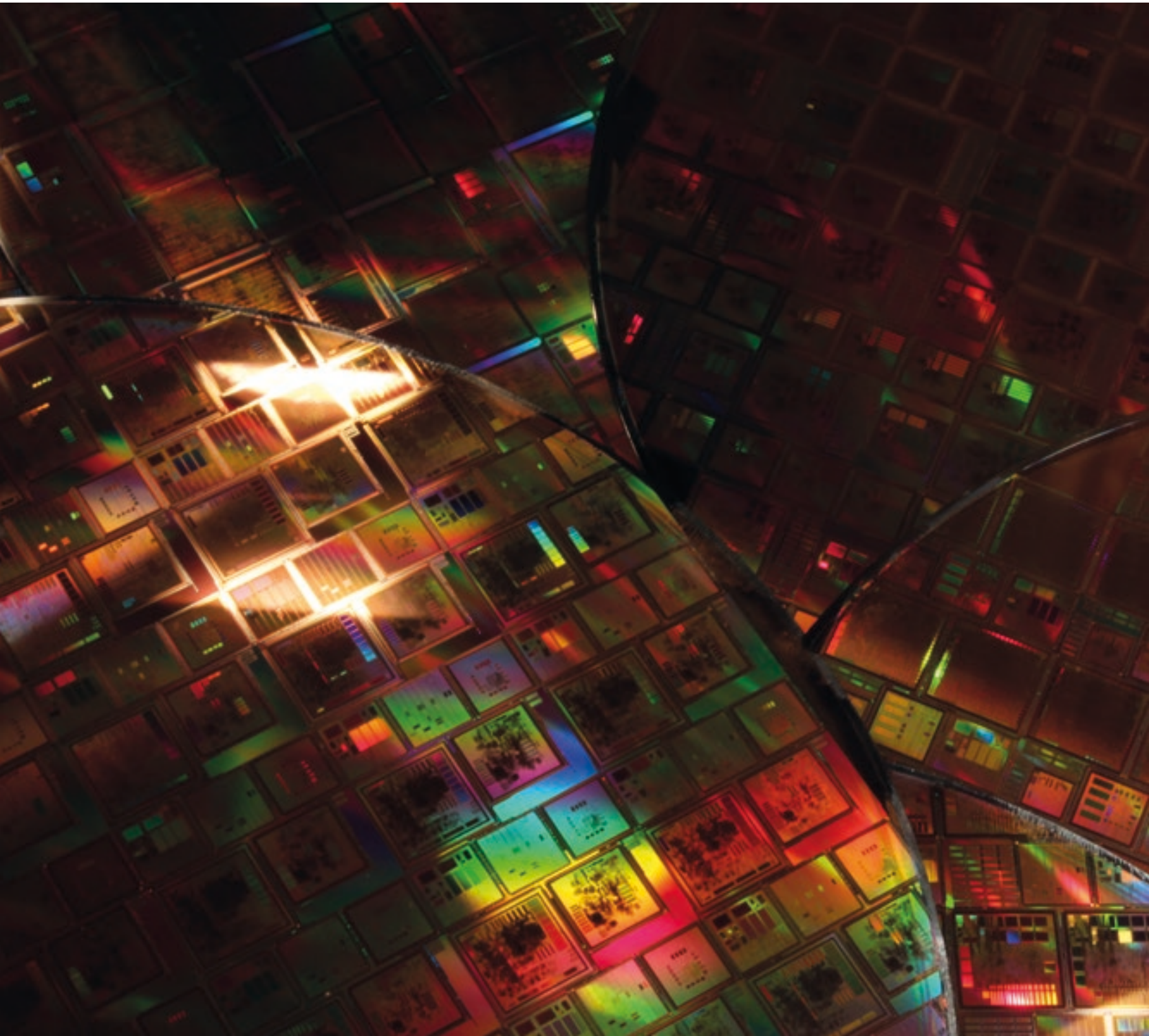
“I have always been convinced that the only way to get artificial intelligence to work is to do the computation in a way similar to the human brain.”

Geoffrey Hinton



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Tecnologías de la Información  
y la Comunicación**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Information and  
Communication Technologies**







# Geoffrey Hinton

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Tecnologías de la Información  
y la Comunicación**

## Las máquinas aprenden

Geoffrey Hinton cree que con el tiempo todo lo que hace el cerebro humano podrán llegar a aprenderlo las máquinas. ¿Con cuánto tiempo? «Más de cinco años», estima Hinton: más allá «no es buena idea hacer predicciones». El ritmo al que avanzan las tecnologías de la información no es uniforme y Hinton lo sabe porque él mismo ha hecho posible el potente e inesperado acelerón que vive ahora el área, y que promete profundos cambios económicos y sociales. Hinton, ganador del Premio Fronteras del Conocimiento en Tecnologías de la Información y la Comunicación, se ha inspirado en la forma en que aprendemos los humanos para abrir la vía a las primeras máquinas capaces de aprender por sí mismas.

Se trata de ordenadores con *deep learning* (aprendizaje profundo), la tecnología detrás de las herramientas de reconocimiento de voz e imagen, de los traductores automáticos o de los vehículos sin conductor. En biomedicina, en seguridad, en cualquier área que necesite extraer información de gran cantidad de datos, hay ya aplicaciones de *deep learning*. Y es solo el principio de lo que promete la nueva inteligencia artificial (AI, en sus siglas en inglés). «Las máquinas nos pueden hacer la vida mucho más fácil», asegura Hinton (Londres, Reino Unido, 1947).

Hace apenas una década pocos hubieran predicho este auge de la AI. Por entonces la investigación en aprendizaje automático (*machine learning* en inglés) progresaba despacio. Los investigadores habían ensayado diversos abordajes. Uno de ellos consistía en programar gran cantidad de conocimiento en la máquina, el equivalente a explicarle, por ejemplo, qué es un gato de forma que pudiera reconocerlo al *verlo*. Ahora bien, ¿cómo programar la diferencia con un gato de peluche o con otro felino de tamaño

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Information and  
Communication Technologies**

## Machines that learn

Geoffrey Hinton believes that sooner or later machines will learn to do everything the human brain does. So what time scale are we talking about? “Over five years,” says Hinton, since beyond this point “it’s safer not to make predictions.” As the mind behind the remarkable boom that has recently swept the field, auguring profound social and economic changes, he knows better than most that information technologies advance in fits and starts. Hinton, winner of the Frontiers of Knowledge Award in Information and Communication Technologies, has drawn on the way humans learn in order to work towards the creation of the first machines able to learn for themselves.

The technology in question, known as deep learning, has already provided us with image and speech recognition tools, machine translators and driverless vehicles. Deep-learning applications have also been rolled out in biomedicine, security and other areas where the need exists to extract information from massive data sets. And this is just a taste of the potential of the new artificial intelligence (AI), with machines which, according to Hinton (London, United Kingdom, 1947), “will make our lives a whole lot easier.”

As recently as a decade ago, few would have wagered on this resurgence of AI. Research into machine learning was progressing, certainly, but the pace was frustratingly slow. Specialists had been trying out different approaches. One consisted of programming the machine with vast amounts of knowledge: in order to teach it, for instance, what a cat was, so it could recognize one on “sight.” But then, how could it be programmed to distinguish between a real and a toy cat or some other kind of medium-sized feline? With this strategy, the prior knowledge the machine must digest only gets bigger and bigger.

Hinton se ha inspirado en el aprendizaje humano para desarrollar programas que permiten a las máquinas aprender por sí mismas. El reciente y repentino auge de las aplicaciones de reconocimiento de voz e imagen, de los asistentes virtuales o de los vehículos sin conductor se debe a esta nueva rama de la inteligencia artificial.

Hinton has drawn on the human learning process to develop programs that let machines learn for themselves. The recent boom in voice and image recognition systems, virtual personal assistants and self-driving vehicles is a product of this new branch of artificial intelligence.

medio? Con esta estrategia, el conocimiento previo que debe digerir la máquina crece y crece.

Una alternativa a ello es entrenarla con ejemplos correctos e incorrectos para que adquiriera experiencia. Este es el objetivo de las redes neuronales artificiales, un tipo de programas que operan como unidades conectadas entre sí —al estilo de las neuronas biológicas—. Sin embargo, las primeras redes neuronales no funcionaron como se esperaba y la inmensa mayoría de los investigadores acabó considerándolas una vía muerta. Hinton no formó parte de esa inmensa mayoría. Él mismo, profundamente intrigado desde adolescente por el funcionamiento del cerebro humano, mantuvo la apuesta por las redes neuronales. Tras graduarse en Psicología Experimental por la Universidad de Cambridge en 1970, se doctoró en Inteligencia Artificial con una tesis sobre redes neuronales leída en la Universidad de Edimburgo en 1978. Ha contado que por entonces, y durante varios años, su mentor le aconsejaba «todas las semanas» que cambiara de campo, a lo que él respondía: «Dame otros seis meses y te demuestro que funcionan».

Después de quedarse sin fondos para su trabajo en el Reino Unido, emigró primero a Estados Unidos y después a la Universidad de Toronto, en Canadá. Empeñado en buscar inspiración en el cerebro, creó en 2004 un grupo integrado por expertos en computación, electrónica, neurociencia, física y psicología. Y de ahí nació *deep learning*.

Contra todo pronóstico, Geoffrey Hinton y sus estudiantes desarrollaron en 2009 una red neuronal para reconocimiento de voz que obtenía mejores resultados que la tecnología disponible en ese momento, fruto de tres décadas de trabajo. En 2012 una sofisticada red compuesta por 650.000 *neuronas*, y entrenada con 1,2 millones de imágenes, redujo casi a la mitad la tasa de error en reconocimiento de objetos. Es decir, y volviendo a los gatos: la máquina aprendía a identificarlos sin que nadie tuviera que describirselos previamente. Desde 2013, Hinton compagina su cátedra en la Universidad de Toronto con el puesto de vicepresidente e investigador en Ingeniería de Google.

An alternative is to train the machine by means of correct and incorrect examples, so it gains “experience.” This is the goal pursued by artificial neural networks, programs that operate as interconnected units along the lines of biological neurons. The first neural networks, however, failed to live up to their promise, and most researchers came to see them as basically a dead end.

Hinton was not part of this majority. Fascinated from his teenage years by the functioning of the human brain, he made the conscious choice to persevere with neural networks. After graduating from the University of Cambridge in 1970, with a BA in Experimental Psychology, he went on to the University of Edinburgh, where in 1978 he earned a PhD in Artificial Intelligence with a thesis on neural networks. For years, he recalls, his thesis advisor urged him to switch fields “on a weekly basis.” His reply never varied: “Give me another six months and I’ll prove to you that it works.”

Unable to raise the necessary research funding in his home country, he opted to emigrate, first to the United States and subsequently to the University of Toronto, in Canada. Still determined to find inspiration in the brain, he formed a group there in 2004 made up of experts in computing, electronics, neuroscience, physics and psychology. Deep learning was about to be born.

Against all expectations, in 2009 Geoffrey Hinton and his students developed a neural network for voice recognition that improved substantially on the incumbent technology; a product, in turn, of thirty years’ work. In 2012 a sophisticated network comprising 650,000 “neurons,” and trained with 1.2 million images, managed to reduce the object recognition error rate by almost half. The equivalent, returning to cats, of the machine learning to identify the animal without anyone having previously described it. Hinton has since 2015 combined his professorship at the University of Toronto with the post of vice-president engineering fellow at Google.

What lies behind the success of the new AI? In no small measure, Hinton’s algorithms, whose workings he explains thus: “The human brain works by chang-



¿Cuál es la clave del éxito de la nueva AI? En gran medida los algoritmos de Hinton, cuyo fundamento él mismo explica así: «El cerebro humano aprende reforzando las conexiones entre sus miles de millones de neuronas; para que un ordenador aprenda, se puede intentar reproducir ese proceso descubriendo un mecanismo que refuerce las conexiones entre neuronas artificiales».

Los algoritmos de Hinton se inspiran en el proceso biológico del aprendizaje y lo convierten en matemáticas. Y aquí entra en juego el entrenamiento de la máquina: si una imagen de prueba es reconocida, las conexiones de la red neuronal que han llevado a esa respuesta correcta aumentan de valor —se *refuerzan*—. La máquina *aprende* cuando, tras mucho entrenamiento, se eliminan o reducen las conexiones de menos valor. El proceso descansa en el método matemático *backpropagation* creado por Hinton, que permite informar eficazmente a la red de sus errores o aciertos y ajustar el valor de sus conexiones en consecuencia.

*Deep learning* es, en esencia, «un nuevo tipo de inteligencia artificial» en que «logras que la máquina aprenda de su propia experiencia», explica Hinton. Es además una técnica que aprovecha al máximo otros dos grandes avances en computación: el aumento de la capacidad de cálculo y el aluvión de datos ya disponibles en multitud de áreas. Para muchos, el auge paralelo del *deep learning* y el *big data* es un caso claro de co-evolución computacional.

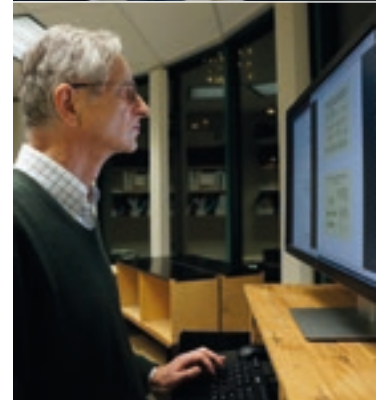
«Hace años hice una apuesta, y me siento muy afortunado porque al final se ha demostrado que [mi estrategia] funciona», asiente con satisfacción Hinton.

ing the strengths of the connections between its billions of neurons; to get a computer to learn, we can try to reproduce this process, identifying a rule that changes the connection strengths between artificial neurons.”

Hinton’s algorithms mimic the biological process of learning and turn it into mathematics. This is the point where machine training comes into play. If a test image is recognized, the neural network connections that have led to the right answer are reinforced – become stronger. The machine “learns” when, after lengthy training, the least productive connections are weakened or eliminated. The process rests on the mathematical method known as backpropagation, created by Hinton, which allows the network to reliably check its right and wrong responses and adjust its connection strengths accordingly.

Deep learning is, in essence, “a new kind of artificial intelligence,” explains Hinton, where “you get the machine to learn from its own experience.” As a technique, it has also gained maximum mileage from two other advances in computation: the leap in calculating power and the avalanche of data becoming available in every domain. Indeed many see deep learning and the rise of Big Data as a clear example of computational co-evolution.

“Years ago I put my faith in a potential approach,” says Hinton contentedly, “and I feel fortunate because it has eventually been shown to work.”



Más información:



More information:





**Georg Gottlob**

**Presidente del jurado**

Es catedrático de Ciencias de la Computación en la Universidad de Oxford (Reino Unido) y catedrático adjunto en Ciencias de la Computación en la Universidad Tecnológica de Viena (Austria). Investiga en algoritmos, teoría de bases de datos, inteligencia artificial y procesamiento de datos web, y particularmente en sus aplicaciones en optimización de búsquedas, teoría de juegos y comercio electrónico. Es *fellow* de la Royal Society y miembro de la Academia Austriaca de Ciencias, de la Academia Alemana de Ciencias (Leopoldina) y de la Academia Europaea.

**Chair of the jury**

Professor of Computer Science at the University of Oxford and Adjunct Professor of Computer Science at Vienna University of Technology (TU Wien) (Austria). His research interests lie in algorithms, database theory, artificial intelligence and web data processing, with applications in query optimization, game theory and electronic commerce. He is a Fellow of the Royal Society, and a member of the Austrian Academy of Sciences, the German Academy of Sciences (Leopoldina) and the Academia Europaea.



**Ramón López de Mántaras**

**Secretario del jurado**

Es director del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial del CSIC (España) y profesor de investigación de esta misma organización. Miembro del consejo editorial de numerosas revistas, ha sido editor jefe de *AI Communications* y presidente del Board of Trustees del International Joint Conferences on Artificial Intelligence. Ha recibido el Robert S. Englemore Memorial Lecture Award de la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial (AAAI) y el Distinguished Service Award de la Asociación Europea para la Inteligencia Artificial (EurAI).

**Secretary of the jury**

Research Professor with the Spanish National Research Council (CSIC) and Director of its Artificial Intelligence Research Institute. He has served on the editorial board of numerous journals and is former editor-in-chief of *AI Communications* and chairman of the Board of Trustees of the International Joint Conferences on Artificial Intelligence. His distinctions include the Robert S. Englemore Memorial Lecture Award of the Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI) and the Distinguished Service Award of the European Association for Artificial Intelligence (EurAI).



**Regina Barzilay**

Es catedrática Delta Electronics del Departamento de Ingeniería Electrónica y Ciencias de la Computación del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Su investigación se centra en modelos de lenguaje natural, y en lingüística computacional aborda el aprendizaje multilingüe. Su trabajo permite la elaboración automatizada de resúmenes de textos y la interpretación por parte de ordenadores de instrucciones en lenguaje natural. Entre otros galardones ha recibido el NSF Career Award, de la Fundación Nacional de la Ciencia estadounidense.

Delta Electronics Professor of Electrical Engineering and Computer Science at Massachusetts Institute of Technology (United States). Her research focuses on natural language models and computational linguistics, with particular attention to multilingual learning. This work enables the automated summarization of documents and machine interpretation of natural language instructions. She holds various distinctions including the NSF Career Award of the U.S.'s National Science Foundation.



**Liz Burd**

Es vicerrectora de Enseñanza y Aprendizaje en la Universidad de Newcastle (Australia). Experta en Ciencias de la Computación, entre 2010 y 2012 fue vicepresidenta de Actividades Educativas del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), un puesto que le ha permitido promover internacionalmente la enseñanza en las áreas de ciencia, tecnología e ingeniería. Es receptora de un premio National Teaching Fellowship, y del galardón 2008 IEEE Computer Science and Engineering Undergraduate Teaching Award.

Pro-Vice Chancellor in Learning and Teaching at the University of Newcastle (Australia). An expert in computer science, she has been Vice President of Educational Activities for the IEEE Computer Society (2010-2012), a role that gave her the opportunity to influence the development of international education within the science, technology and engineering disciplines. Her distinctions include a National Teaching Fellowship and the 2008 IEEE Computer Science and Engineering Undergraduate Teaching Award.



**Oussama Khatib**

Es director del Laboratorio de Robótica y catedrático de Ciencias de la Computación en la Universidad de Stanford (Estados Unidos). Ha publicado más de trescientos artículos sobre robótica centrada en el ser humano: interacciones a través del tacto, inteligencia artificial, síntesis del movimiento humano y animación. Preside la Fundación Internacional de Investigación Robótica y es coeditor del *Handbook of Robotics*, premiado por la Asociación Americana de Editores, y ha obtenido el IEEE Technical Field Award in Robotics and Automation 2017.

Director of the Robotics Laboratory and Professor of Computer Science at Stanford University (United States). He has published over 300 articles on human-centered robotics: haptic interactions, artificial intelligence, human motion synthesis and animation. He is President of the International Foundation of Robotics Research (IFRR) and Coeditor of *Handbook of Robotics*, awarded the American Publishers Award for Excellence in Physical Sciences and Mathematics. Khatib is the recipient of the 2017 IEEE Technical Field Award in Robotics and Automation.



**Rudolf Kruse**

Es catedrático de la Facultad de Ciencias de la Computación en la Universidad de Magdeburgo (Alemania). Su investigación comprende la estadística, inteligencia artificial, sistemas expertos, sistemas neuronales artificiales, sistemas difusos y minería de datos, que se ha traducido en diversas aplicaciones industriales. Es *fellow* de la Asociación Internacional de Sistemas Difusos, del Comité Europeo de Coordinación para la Inteligencia Artificial y del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE).

Professor in the Faculty of Computer Science at the University of Magdeburg (Germany). His research work encompasses statistics, artificial intelligence, expert systems, artificial neural systems, fuzzy systems and data mining, and has led to a number of industrial applications. He is a Fellow of the International Fuzzy Systems Association, the European Coordinating Committee for Artificial Intelligence and the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).



## Joos Vandewalle

Es catedrático emérito del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), donde dirigió una división de investigación en señales, identificación, teoría de sistemas y automatización, seguridad informática y criptografía industrial. Trabaja en la teoría de sistemas matemáticos y sus aplicaciones, teoría de circuitos, control, procesamiento de señales y redes neuronales. Es *fellow* del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) y presidente de la Sección de Ciencias Técnicas de la Royal Flemish Academy of Belgium.

Emeritus professor in the Department of Electrical Engineering at KU Leuven (Belgium), where he headed a division working on signals, identification, system theory and automation, computer security and industrial cryptography. His research centers on mathematical system theory and its applications, circuit theory, control and optimization, signal processing and neural networks. He is a Fellow of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and chairman of the Technical Sciences class of the Royal Flemish Academy of Belgium.

## Jurado

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Tecnologías de la Información  
y la Comunicación**

## Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Tecnologías de la Información y la Comunicación ha sido concedido en su novena edición a Geoffrey Hinton por su trabajo pionero y profundamente influyente en el aprendizaje automático.

Hinton es la figura mundial más importante en el área de redes neuronales. Su trabajo se inspira en el funcionamiento del cerebro humano y en cómo ese conocimiento puede ser aplicado con el fin de dotar a las máquinas de la capacidad para desempeñar tareas complejas como lo hacen los humanos.

Hinton, en colaboración con el difunto David Rumelhart, desarrolló el sistema de aprendizaje por retropropagación para redes neuronales, que permite a estas producir sus propias representaciones internas, y que se ha utilizado con éxito en una amplia gama de aplicaciones prácticas. Hinton realizó muchas contribuciones significativas al éxito de la retropropagación. Fue el primero en poner el foco en la noción de un criterio de entrenamiento diferenciable para el aprendizaje en las redes neuronales y también el primero en utilizar la retropropagación en el tiempo para el aprendizaje de estructuras secuenciales. Asimismo introdujo una serie de nuevas técnicas que se hicieron predominantes en el aprendizaje automático.

Hinton es el investigador de quien parte el aprendizaje profundo, uno de los desarrollos más emocionantes de la moderna inteligencia artificial. En 1999 desarrolló un nuevo algoritmo que acabó convirtiéndose en la piedra angular de los algoritmos de aprendizaje profundo, que extraen abstracciones de alto nivel a partir de los datos, eliminando así la ingeniería manual y permitiendo a la máquina aprender de manera automática representaciones de datos aptas para una tarea.

Sus contribuciones han desplazado las fronteras de la inteligencia artificial y han sido el fundamento de los algoritmos más eficaces en reconocimiento de voz, de imagen y del lenguaje, cambiando el modo en que interactuamos con la información.

## Jury

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Information and  
Communication Technologies**

## Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Information and Communication Technologies goes, in this ninth edition, to Geoffrey Hinton for his pioneering and highly influential work on machine learning.

Hinton is the world's most important figure in the area of neural networks. His work is inspired by how the human brain functions and how this knowledge can be applied to provide machines with human-like capabilities in performing complex tasks.

Hinton, in collaboration with the late David Rumelhart, developed the backpropagation learning procedure for neural networks. Backpropagation enables such networks to produce their own internal representations and has been used successfully in a wide variety of practical applications. Hinton made many significant contributions to the success of this procedure. He was the first to place emphasis on the notion of a differentiable training criterion for learning in neural networks, and also the first to use backpropagation-through-time for learning sequential structures. He also introduced a variety of new techniques that became prevalent in machine learning.

Hinton is the leading researcher behind deep learning, one of the most exciting developments in modern AI. In 1999, he developed a new algorithm that later became the major building block for deep learning algorithms, which learn high-level abstractions from data, eliminating manual feature engineering and allowing a machine to automatically learn data representations tailored for a task.

His contributions have pushed the boundaries of AI and established the underpinnings of the most successful algorithms in speech recognition, image recognition and natural language processing, changing the way we interact with information.

«La economía es una disciplina empírica, pero su mayor fuerza proviene de la combinación con la teoría; así es realmente poderosa para explicar el fenómeno social.»

“Economics is an empirical discipline, but it is in combination with theory that it achieves its greatest power for understanding social phenomena.”

Daron Acemoglu



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Economía, Finanzas y  
Gestión de Empresas**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Economics, Finance and  
Management**







# Daron Acemoglu

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Economía, Finanzas y  
Gestión de Empresas**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Economics, Finance and  
Management**

51

## Tras las causas del desarrollo económico

Daron Acemoglu (Estambul, Turquía, 1967) creció siendo parte de una minoría de ese país en los años ochenta, lo que le convirtió en una persona escéptica con los canales tradicionales de autoridad y que se cuestionaba «si la economía disfuncional del país y la extendida pobreza de su población estaban relacionadas con un sistema político represivo». A su origen turco de ascendencia armenia, se suma su actual ciudadanía norteamericana tras haber cursado estudios superiores en el Reino Unido. Este tránsito entre distintas sociedades en diferentes grados de desarrollo económico y social despertó su interés por la teoría del crecimiento. Enseguida Acemoglu observó que los análisis tradicionales de esta rama de la ciencia económica se centraban en factores como el capital humano o el capital físico, pero dejaban de lado otros, en su opinión tan o más determinantes, como las estructuras políticas y las influencias institucionales: «La mayor parte de mi trabajo durante los últimos veinticuatro años ha estado motivada por conocer los orígenes de la pobreza. Lo que he intentado en mis investigaciones es entender mejor sus causas».

Acemoglu ocupa actualmente la Cátedra de Economía Elizabeth y James Killian del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), institución en la que trató inicialmente de cursar sus estudios de posgrado. En aquel entonces, el MIT lo aceptó como alumno por sus brillantes trabajos, pero no le concedió una beca, por lo que decidió continuar su formación en Reino Unido y doctorarse en la London School of Economics. Este cambio en sus planes tiene una gran importancia en la trayectoria investigadora de Acemoglu, ya que durante su estancia formativa en la capital británica conoció al profesor James Robinson. Nada más tomar contacto, ambos se dieron cuenta de que, de manera independiente, habían pensado en cuestiones simi-

## Pursuing the causes of economic development

Daron Acemoglu (Istanbul, 1967) grew up a member of a minority community in 1980s Turkey. This made him something of a skeptic about traditional channels of authority and led him to wonder “whether the dysfunctional economy of the country and the widespread poverty of its people were related to its repressive political system.” Of Turkish origin and Armenian descent, he added his current U.S. citizenship into the mix after studying at universities in the United Kingdom. It was this transit between societies with differing degrees of social and economic development that first drew him towards growth theory. And right away, Acemoglu found that traditional analyses in this branch of economics emphasized factors such as human or physical capital, while tending to sideline others that he felt were equally if not more decisive, starting with political structures and institutional influences. “Most of the work I’ve been doing over the last twenty-four years has been motivated by trying to understand the sources of poverty, to dig deeper into its causes.”

Acemoglu is currently Elizabeth and James Killian Professor of Economics at Massachusetts Institute of Technology, the center that was his first choice to pursue postgraduate studies. MIT was keen to have him on account of his sparkling CV but turned him down for a scholarship, so Acemoglu decided to continue his education in Britain and enroll for a PhD at the London School of Economics. This change of plan would color his whole future in research, for it was during his studies in the UK capital that he met Professor James Robinson. The two men quickly realized that they had been engaging with similar issues from a parallel perspective, and embarked on what Acemoglu describes as a “very productive relationship.” It is with Robinson that he has worked

Acemoglu encontró que los análisis tradicionales de la economía del desarrollo se olvidaban de preguntas fundamentales: cómo se organiza una sociedad, por qué toma las decisiones que toma y, especialmente, por qué adopta las políticas que adopta. Contestándolas, trata de conocer las causas de la pobreza.

Acemoglu found that traditional analyses in development economics neglected certain fundamental questions, like the way a society is organized and why it makes the choices or adopts the policies that it does. By answering them, he seeks to dig deeper into the causes of poverty.

lares desde las mismas perspectivas, motivo por el que comenzaron una relación que el propio Acemoglu califica de «muy productiva», y es por lo que junto a Robinson ha desarrollado la gran mayoría de sus trabajos en torno al crecimiento y el desarrollo económico.

El novedoso abordaje que Acemoglu desarrolla — junto a Robinson y al profesor Simon Johnson — en *Los orígenes coloniales del desarrollo comparativo: una investigación empírica* (2001) consistió en enfatizar factores que antes no eran tan centrales: cómo se organiza una sociedad, por qué toma las decisiones que toma y, especialmente, por qué adopta determinadas políticas. Como el propio Acemoglu explica: «la importancia del papel que juega la tecnología, por ejemplo, o el de la educación se comprenden bien. Pero lo que faltaba, de alguna manera, era preguntarse por qué las naciones no invierten más en educación o por qué no fomentan la adopción de las mejores tecnologías existentes». Estas decisiones son las que, con el tiempo, dan forma a las instituciones — entendidas como el conjunto de reglas formales e informales que rigen la interacción humana — propias de cada sociedad y estas, a su vez, las que determinan un alto o bajo grado de desarrollo económico. Por el desarrollo de este concepto de instituciones y por lograr establecer el efecto causal que tiene sobre el desarrollo económico es por lo que Daron Acemoglu ha recibido el Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en la categoría de Economía, Finanzas y Gestión de Empresas.

En 2012 Acemoglu publica, de nuevo junto a Robinson, *Por qué fracasan los países*, obra en la que ambos retoman sus tesis sobre la calidad de las instituciones para crear una teoría más amplia y global del desarrollo económico. Es en esta publicación en la que completan su concepto de instituciones inclusivas (estables, que garantizan la seguridad jurídica y la igualdad de condiciones) y extractivas (aquellas en las que determinadas minorías utilizan el poder en beneficio propio).

El punto de partida de estos trabajos — acaso los más conocidos de Acemoglu — tiene un marcado carácter experimental anclado en una robusta base histórica. Como él mismo explica, «la economía es una disci-

on most of his publications on the subject of growth and economic development.

The approach taken by Acemoglu – and co-authors Robinson and Professor Simon Johnson – in *The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation* (2001) marked a break with tradition by spotlighting factors that had not previously been seen as central: how a society is organized and why it makes the choices or adopts the policies that it does. “The role of technology, education and so on are very well understood,” Acemoglu explains. “But what was missing, in a sense, was to ask questions about why it is that nations don’t invest more in education or why they don’t encourage the adoption of the best technologies.” These are the decisions that give rise, with time, to each society’s institutions – understood as the set of formal and informal rules governing human interaction – and they, in turn, will determine its greater or lesser degree of economic development. It is for elaborating this concept of institutions and establishing its causal impact on economic development that Daron Acemoglu has received the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Economics, Finance and Management.

In 2012, again with Robinson, Acemoglu published *Why Nations Fail*, in which the authors revisit their thesis about the quality of institutions to create a wider, more global theory of economic development. In its pages, they refine their concept of inclusive institutions (stable, ensuring legal certainty and equal access to opportunities) and extractive institutions (in which certain minorities use power to further their own interests).

The starting point for these publications – probably the best known in Acemoglu’s catalog – is plainly empirical in nature but anchored on a firm historical foundation. As he himself remarks, “economics is an empirical discipline, but it is in combination with theory that it achieves its greatest power for understanding social phenomena.”

More recently, Acemoglu has developed influential theories in the emerging field of network economics, applying them in one of his investigations to financial



plina empírica, pero su mayor fuerza proviene de la combinación con la teoría; así es realmente poderosa para explicar el fenómeno social».

Más recientemente, en uno de sus estudios Acemoglu ha desarrollado también teorías relevantes en el emergente campo de la economía de redes, aplicadas a los sistemas financieros. Sostiene que un cambio inesperado en el sistema (impago de la deuda, por ejemplo), por pequeño que sea, puede provocar una cadena de bancarrotas que llegue a afectar a toda la economía. El *modelo de contagio* se hizo particularmente importante después de la crisis financiera mundial de 2008: «vimos casos de este tipo ocurrir ante nuestros ojos», afirma.

Pero Daron Acemoglu, como reconoce el jurado de estos premios, también ha desarrollado contribuciones destacables exclusivamente en el plano teórico, como en uno de sus primeros trabajos (de principios de la década de los noventa) en la rama de la economía del trabajo. En él demostró que el seguro de desempleo, como herramienta que permite a los trabajadores ser más exigentes a la hora de aceptar un trabajo, puede llegar a provocar —en contra de lo que sostenían las tesis tradicionales— un aumento en el nivel de producción y mejoras en la productividad y en la riqueza.

Acemoglu es autor de cuatro influyentes libros y de más de un centenar de artículos publicados en revistas de referencia, como *American Economic Review*. Entre sus méritos, el jurado destaca que sus trabajos han influido «de manera general en todas las ciencias sociales».

systems. He sustains that any negative shock, even a small one (like a defaulted loan), can trigger a chain of bankruptcies that extends across the economy. This contagion model gained particular currency after the global financial crisis of 2008, when “we saw instances of this play out before our eyes.”

But Daron Acemoglu, as the Frontiers jury recognizes, has also made substantial contributions on the exclusively theoretical front, as in one of his earliest studies (from the start of the 1990s) in the labor economics field. Its central premise was that unemployment insurance, by allowing workers to be choosier about accepting a given job offer, can actually boost the level of output in the economy – contrary to the traditional wisdom – improving productivity, welfare and wealth.

Acemoglu is the author of four essential books and over one hundred papers published in leading journals such as *American Economic Review*. In the words of the jury’s citation, his work has resonated deeply and broadly “across the social sciences.”



Más información:



More information:





**Eric S. Maskin**

**Presidente del Jurado**

Es Adams University Professor en la Universidad de Harvard, donde investiga sobre teoría de juegos, políticas económicas, economía de la desigualdad, y ventajas y desventajas de la propiedad intelectual. En 2007 recibió el Premio Nobel de Economía junto a L. Hurwicz y R. Myerson por desarrollar las bases de la teoría del diseño de mecanismos. Miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y *fellow* de la Asociación Económica Europea, ha sido presidente de la Sociedad de Econometría y de la Sociedad de Teoría de Juegos.

**Chair of the jury**

Adams University Professor at Harvard University, where he researches into game theory, political economics, the economics of inequality, and the advantages and drawbacks of intellectual property. He received the 2007 Nobel Prize in Economics along with L. Hurwicz and R. Myerson for laying the foundations of mechanism design theory. A member of the U.S. National Academy of Sciences, and Fellow of the European Economic Association (EEA), he is also a past president of the Econometric Society and the Game Theory Society.



**Manuel Arellano**

**Secretario del jurado**

Profesor de Econometría en el Centro de Estudios Monetarios y Financieros del Banco de España, ha sido profesor en la Universidad de Oxford y la London School of Economics. En 2013 fue presidente de la Asociación Europea de Economía (EEA) y en 2014 de la Sociedad de Econometría. Ha realizado numerosos trabajos de investigación sobre econometría, economía laboral y análisis de datos de panel. Ha sido director de la *Review of Economic Studies*, codirector del *Journal of Applied Econometrics* y copresidente del Congreso Mundial de la Sociedad de Econometría (2010).

**Secretary of the jury**

Professor of Econometrics in the Center for Monetary and Financial Studies (CEMFI) of Banco de España, he previously taught at Oxford University and the London School of Economics. President of the European Economic Association (EEA) in 2013 and of the Econometric Society in 2014, he has researched extensively in econometrics, labor economics and analysis of panel data, and is a former editor of the *Review of Economic Studies*, coeditor of the *Journal of Applied Econometrics* and co-chair of the World Congress of the Econometric Society (2010).



**Pinelopi K. Goldberg**

Es catedrática William K. Lanman, Jr. de Economía en la Universidad de Yale (Estados Unidos). Su investigación se centra en los efectos de la liberalización del comercio en el crecimiento económico y la distribución del ingreso, los efectos de la aplicación de los derechos de propiedad intelectual en países en desarrollo, y los determinantes de los tipos de cambio. Es coeditora jefe de la *American Economic Review*, investigadora asociada de la Oficina Nacional de Investigación Económica de Estados Unidos (NBER) y consejera de la Oficina para la Investigación y el Análisis Económicos del Desarrollo (BREAD, por su siglas en inglés).

William K. Lanman, Jr. Professor of Economics at Yale University (United States). Her research examines the effects of trade liberalization on growth and income distribution, the effects of intellectual property rights enforcement in developing countries, and the determinants of incomplete exchange rate pass-through. Coeditor of the *American Economic Review*, she is also a research associate at the National Bureau of Economic Research (NBER), and a board member of the Bureau for Research and Economic Analysis of Development (BREAD).



**Andreu Mas-Colell**

Es catedrático de Economía en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona (España). Durante veinticinco años ha sido profesor e investigador en las universidades de California en Berkeley y Harvard. Ha sido editor, entre otras publicaciones, de la revista *Econometrica*. Es *fellow* de la Sociedad de Econometría, *foreign associate* de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento 2009. Ha sido secretario general del Consejo de Investigación Europeo (ERC) y consejero de Economía y Conocimiento de la Generalitat de Cataluña.

Professor of Economics at Pompeu Fabra University (Spain), he spent 25 years teaching and researching at the universities of California (Berkeley) and Harvard. He is a past editor of *Econometrica* and other journals, a Fellow of the Econometric Society, a foreign associate of the U.S. National Academy of Sciences and a 2009 BBVA Foundation Frontiers of Knowledge laureate. He has served as Secretary General of the European Research Council, and as Minister of Economy and Knowledge with the Catalanian Government.



**Lucrezia Reichlin**

Es catedrática de Economía en la London Business School. Su investigación se centra en series temporales aplicadas, ciclos económicos y política monetaria. Es pionera en métodos de econometría para el análisis de un gran número de series temporales: modelos de factor dinámicos, métodos de contracción y vectores Bayesianos autorregresivos. *Fellow* de la Sociedad de Econometría y de la British Academy, entre otras instituciones, ha recibido recientemente el Premio Birgit Grodal de la Asociación Económica Europea y el Isaac Kerstenetzky Scholarly Achievement Award.

Professor of Economics at the London Business School. Her research is in applied time series, the business cycle and monetary policy. She has pioneered econometric methods for analyzing a large number of time series: dynamic factor models, shrinkage methods and Bayesian vector auto-regressions. A Fellow of the Econometric Society and the British Academy, among other institutions, she was recently honored with the Birgit Grodal Award of the European Economic Association (EEA) and the Isaac Kerstnetzky Scholarly Achievement Award.



**Jean Tirole**

Es catedrático de la Toulouse School of Economics, director científico del Institute for Industrial Economics (IDEI) y presidente del Institute for Advanced Study in Toulouse (IAST). Sus áreas de investigación son la organización industrial, teoría de juegos y macroeconomía, o las relaciones entre economía y psicología. Ha presidido la Sociedad de Econometría y la Sociedad Europea de Economía (EEA). Es premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento 2008 en Economía, Finanzas y Gestión de Empresas y premio Nobel de Economía 2014 por su análisis del poder de los mercados y la regulación.

Professor at the Toulouse School of Economics, Scientific Director of the Institute for Industrial Economics (IDEI) and Chairman of the Institute for Advanced Study in Toulouse (IAST). His research areas are industrial organization, game theory and macroeconomics, and the relations between economics and psychology. A former president of the Econometric Society and the European Economic Association, he holds the 2008 BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Economics, Finance and Management, and in 2014 received the Nobel Prize in Economics for his analysis of market power and regulation

## Jurado

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Economía, Finanzas y  
Gestión de Empresas**

### Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Economía, Finanzas y Gestión de Empresas ha sido concedido en su novena edición a Daron Acemoglu por sus contribuciones fundamentales a la economía del crecimiento y el desarrollo.

En una serie de trabajos que incluyen múltiples artículos publicados en revistas científicas y libros, Acemoglu junto con otros autores ha estudiado el importante papel de las instituciones en el desarrollo económico. Uno de sus trabajos más conocidos emplea las diferencias en las tasas de mortalidad y en los patrones de asentamiento de los colonos europeos para identificar la variación exógena en la adopción de instituciones y mostrar que las diferencias en instituciones han tenido un impacto causal significativo en el desarrollo económico de las colonias. Este trabajo ha establecido que, al contrario de lo postulado por una influyente hipótesis anterior, la geografía no puede explicar por sí sola las diferencias en el desarrollo económico.

Su prolífica investigación utiliza una innovadora combinación de teoría, datos históricos y sofisticados análisis econométricos. Es ampliamente citada y ha influido no solo en el campo de la economía, sino también en la ciencia política, la historia y, de manera general, en todas las ciencias sociales.

Daron Acemoglu ha aportado también contribuciones importantes en el plano teórico. Demostró cómo un cambio tecnológico dirigido es capaz de explicar una serie de observaciones aparentemente contradictorias, como el aumento simultáneo del salario de trabajadores cualificados y de su oferta. También demostró que el seguro de desempleo, aunque fomenta la búsqueda de trabajos mejor remunerados, no reduce necesariamente la producción. Recientemente, ha trabajado extensamente en la economía de redes.

## Jury

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Economics, Finance and  
Management**

### Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Economics, Finance and Management goes, in this ninth edition, to Daron Acemoglu for his fundamental contributions to the economics of growth and development.

In a series of writings that include multiple journal papers and books, he and his coauthors highlighted the important role of institutions in economic development. One of his best known papers used differences in the mortality rates and settlement patterns of European colonizers across colonies to identify exogenous variation in the adoption of institutions, and to show that differences in institutions have had a significant causal impact on colonies' economic development. This work has established that, contrary to an influential earlier hypothesis, geography alone cannot explain differences in economic development.

His prolific research employs an innovative mix of theory, historical data, and sophisticated econometric analysis, is widely cited, and has been influential not only in economics, but also in political science, history, and social sciences more broadly.

Daron Acemoglu has made substantial contributions on the theoretical front as well. He showed how directed technical change can explain a number of puzzling observations such as the concomitant increases in the wages of skilled workers and their supply. He also showed that unemployment insurance, while encouraging the search for higher-wage jobs, need not reduce output. Recently, he has worked extensively on the economics of networks.

«Desde que era niña  
mi objetivo ha sido  
ampliar el conocimiento,  
universalizarme,  
abarcar todo el mundo  
en su integridad.»

“Since childhood,  
my goal has been to  
add to the sum of  
knowledge, to become  
universal, to understand  
the world in its entirety.”

Sofia Gubaidulina



This is a handwritten musical score for a contemporary work. The score is written on a system of staves. At the top, the vocal part is labeled "Barit. Solo" and includes the lyrics: "U or-pér Ben ka-ryu caa-ry a o - zen um." Below the vocal line are several staves for instruments, grouped into sections: "V-ni I div a 8", "V-ni II div a 7", "V-La div a 6", "V-c div a 5", and "C-b div a 4". The notation is dense, with many notes and rests. The score is divided into measures, with some measures containing multiple staves for different instruments. The overall style is characteristic of 20th-century contemporary music notation.





# Sofia Gubaidulina

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Música Contemporánea**

## Entre cielo y tierra

«Desde que era niña, mi objetivo ha sido ampliar el conocimiento, universalizarme, abarcar todo el mundo en su integridad». Sin pretenderlo, Sofia Gubaidulina explica así por qué la creación musical merece figurar entre las categorías de los Premios Fronteras del Conocimiento. La forma de conocimiento de Gubaidulina no es científica, sino mística. Como a San Juan de la Cruz, la contemplación le lleva a trascender toda ciencia. La vida y la obra de Sofia Gubaidulina están gobernadas por esta pulsión de comprender y reunificar el universo que, a su parecer, está partido en cielo y tierra. Mejor que reunificar, ella preferiría decir «re-ligar», que es el verbo titular de la religión. Gubaidulina concibe la música (y el arte en general) como una escalera de Jacob que apoya uno de sus extremos en la tierra y el otro en el cielo. Su estética es neutra: los procedimientos compositivos le son irrelevantes salvo por su efectividad como vehículo místico. Prueba de ello es que se haya abstenido (hasta el momento) de componer ópera: «La ópera me mantendría a ras de tierra, porque tiene demasiadas cosas. El género sinfónico, sin embargo, que no tiene ese exceso de materia, me permite subir al cielo». Sobre el *Triple concierto* para violín, violonchelo y acordeón (2017), su obra más reciente, Gubaidulina dice que, para ella, lo más importante es el título, *Triple*, porque el concepto *tres* es el adecuado para la superación de la dualidad tierra-cielo.

Sofia Asgatovna Gubaidulina nació el 24 de octubre de 1931 en Chistopol, en la actual Tartaristán, una de las repúblicas centroasiáticas de la Federación Rusa. Su padre era un topógrafo tártaro y ateo; su abuelo paterno, un clérigo musulmán de túnica y turbante; su madre, una maestra rusa de origen polaco y judío. A Sofia le fascinaba este cruce de tradiciones. A los veintitrés años se graduó en piano y composición

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Contemporary Music**

## Between heaven and earth

“Since childhood, my goal has been to add to the sum of knowledge, to become universal, to understand the world in its entirety.” With these words, Sofia Gubaidulina explains, unintentionally, why musical creation deserves its place among the categories of the Frontiers of Knowledge Awards. Gubaidulina’s brand of knowledge is not scientific but mystical. Like St. John of the Cross, contemplation takes her to a place transcending all knowledge. Her life and work are ruled by this drive to understand and reunite the universe, which she sees as divided into heaven and earth. Although instead of “reunite”, she might prefer “bind fast,” as in the Latin verb *religere* that grew into the word religion. Gubaidulina conceives music (and art in general) as a Jacob’s ladder with one end resting on the earth and the other in heaven. Her aesthetic is neutral: compositional procedures are only important to her insofar as they are effective as a mystical vehicle. Proof of this is that she has so far held off from writing opera: “Opera would keep me tied to the ground, because it involves too many things. The symphony, however, which doesn’t have this clutter, allows me to ascend to heaven.” Asked about her latest work, the Triple Concerto for violin, cello and bayan (2017), Gubaidulina remarks that its essence, for her, lies in the title word “Triple,” because “three-ness” is a means to break free of the earth-heaven duality.

Sofia Asgatovna Gubaidulina was born on October 24, 1931 in Chistopol, in what is now Tatarstan, one of the Central Asian republics of the Russian Federation. Her father was a Tatar topographer and atheist; her paternal grandfather, a Muslim cleric dressed habitually in tunic and turban; her mother, a Russian schoolteacher of Polish and Jewish extraction. Sofia was fascinated by this mix of traditions. At the

El uso creativo del silencio y sus alrededores es uno de los rasgos principales del estilo de Gubaidulina, junto al tratamiento del ritmo como elemento estructural, el uso de la proporción áurea y la serie de Fibonacci, la economía de los medios y las dualidades de valor simbólico.

The creative use of silence and its surroundings is one of the hallmarks of Gubaidulina's style. Others are her recourse to rhythm as an organizing element, the use of the golden section and the Fibonacci sequence, economy of means and symbolic dualities.

en el Conservatorio de Kazán. En Moscú estudió seis años más con dos compositores de la órbita de Shostakovich: Nikolai Peiko, quien la inició en Mahler, Schönberg y Stravinsky, y Vissarion Shebalin, quien le contagió dos pasiones: el folclore tártaro y la música electrónica. En esos años moscovitas trabajó también con Philipp Herschkowitz, quien había sido alumno de Webern. El amor inmoderado por la música de Bach completa la lista de sus principales influencias. Es sabido el comentario de Shostakovich, que la animó a «continuar por su camino erróneo». En su eterna ambigüedad política, Shostakovich aludía al carácter antisoviético de esa música: inclinación vanguardista, sonoridades microtonales y, sobre todo, espiritualidad, cuando no abierta religiosidad. Para Gubaidulina, y para sus colegas del triunvirato de la vanguardia moscovita, Edison Denísov y Alfred Schnittke, seguir el camino erróneo significaba la imposibilidad de hacer carrera. Ella se refugió en la composición privada, en la música de cine y en la práctica de la improvisación con instrumentos populares —por los que sigue sintiendo devoción— en el Ensemble Astreia, que fundó en 1975. En 1979 se le prohibió definitivamente estrenar música. Un año después, sin embargo, su carrera y su vida habían de cambiar drásticamente de rumbo. Dedicó su concierto para violín y orquesta *Offertorium* (1980) a Gidon Kremer, quien se entusiasmó con él y lo llevó en triunfo por el mundo.

Occidente conoció entonces a Gubaidulina y, cuando pudo salir de la antigua Unión Soviética, la recibió por todo lo alto. En 1987 viajó a Estados Unidos y recibió encargos de la Filarmónica de Nueva York, las sinfónicas de Chicago y Boston, Yuri Bashmet y el Kronos Quartet. Lo mismo ocurrió en Europa, con encargos de Berlín, Helsinki, Róterdam, Stuttgart, Hamburgo, Londres (con amplio retrato en la BBC) y Lucerna, además de los de solistas como Anne-Sophie Mutter, con su concierto *In tempus praesens* (2007). Su prestigio llegó también a España, donde ha tenido una residencia en el Encuentro de Música y Academia de Santander en 2003, múltiples presentaciones en 2009 —carta blanca de la Orquesta Nacional de España, *La Pasión según San Juan* en el Festival de Canarias, estreno de *Fantasía sobre el tema S-H-E-A* (2008) encargo de la Escuela de Música

age of 23, she graduated in piano and composition from Kazan Conservatory. She then studied in Moscow for a further six years with two composers who had worked alongside Shostakovich: Nikolai Peiko, who introduced her to Mahler, Schönberg and Stravinsky, and Vissarion Shebalin, who awoke in her a twin passion for Tatar folklore and electronic music. During these Moscow years, she also worked with Philipp Herschkowitz, a former pupil of Webern's. An immoderate love for the music of Bach completes the list of her main influences. Shostakovich's instruction to her to "continue on your own incorrect path" has become part of her personal legend. In his eternal political ambiguity, Shostakovich referred to the anti-Soviet nature of her music: avant-garde leanings, microtonal sonorities and, above all, spirituality if not out-and-out religiosity. For Gubaidulina, and her colleagues in the triumvirate of the Moscow avant-garde, Edison Denisov and Alfred Schnittke, continuing on the incorrect path meant giving up on a career. She took refuge in composing for herself, writing film scores and practicing improvisation with folk instruments – for which she still feels devotion – as part of the Astreja Ensemble that she founded in 1975. In 1979, she was banned from releasing her music. Yet just one year later, her life and career were set on an entirely different course. She dedicated her *Offertorium* violin concerto (1980) to Gidon Kremer, who, enamored of the piece, performed it to a clamorous reception all around the world.

The West had by then come to know Gubaidulina's work and greeted her with open arms when she was finally able to leave the former USSR. In 1987, on a visit to the United States, she received commissions from the New York Philharmonic, the Chicago and Boston symphony orchestras, Yuri Bashmet and the Kronos Quartet. The story was repeated in Europe, with commissions pouring in from Berlin, Helsinki, Rotterdam, Stuttgart, Hamburg, London (including an extensive profile by the BBC) and Lucerne, as well as from soloists like Anne-Sophie Mutter, for whom she wrote the concerto *In tempus praesens* (2007). Her fame extended to Spain, where she was composer-in-residence at the Encuentro de Santander in 2003, followed by a string of performances in 2009 – carte blanche concerts by the Orquesta Nacional de España,



Reina Sofía — y monográficos en el Auditorio Nacional de Música de Madrid, L'Auditori de Barcelona y un CD grabado por la Orquesta Sinfónica de Euskadi.

En Hannover y Stuttgart, Gubaidulina estrenó una *Pasión* (2000) y una *Pascua* (2002), ambas según San Juan, que constituyen un monumental díptico sobre la muerte y resurrección de Cristo. Es, quizá, el trabajo más importante de su catálogo junto con las obras que utilizan *bayan*, el acordeón ruso: *De profundis* (1978), *In croce* (1979), *Silenzio* (1991) y las *Siete palabras* (1982). Además de todas las obras citadas, destacan también *Introitus* (1978), *The Light of the End* (2003) y *Stimmen... verstummen...* (1986), en español *Voces... silenciadas...*, que contiene un largo solo de director; es decir, un pasaje de silencio medido, puro tiempo estructurado. El uso creativo del silencio y sus alrededores es, precisamente, uno de los rasgos principales del estilo de Gubaidulina. Otros son el tratamiento del ritmo como elemento estructural, el uso de la proporción áurea y la serie de Fibonacci, la economía de los medios y las dualidades de valor simbólico, como la oposición trascendente entre el mundo terrenal (abundante, discontinuo, dramático) y el divino (despojado, continuo, calmado), representada por los pares sonido/silencio, tonalidad/microtonalidad, actividad/estatismo y otros de ese tenor.

Desde 1992 Sofia Gubaidulina vive en retiro casi monacal en el pueblecito de Appen, cerca de Hamburgo, donde recibe encargos desde todos los continentes.

*Johannes-Passion* at the Canary Islands Festival, the premiere of *Fantasy on the Theme S-H-E-A* (2008), commissioned by the Escuela Reina Sofía – as well as monographic concerts in the Auditorio Nacional de Madrid and L'Auditori de Barcelona, and a CD by the Orquesta Sinfónica de Euskadi.

Gubaidulina premiered her *Johannes-Passion* (2000) and *Johannes-Ostern* (2002) in Hannover and Stuttgart respectively, the two forming a magnificent diptych on Christ's death and resurrection according to St. John. This arguably represents the pinnacle of her output, together with her pieces for the Russian accordion or bayan: *De Profundis* (1978), *In Croce* (1979), *Silenzio* (1991) and *Seven Words* (1982). Other major works include *Introitus* (1978), *The Light of the End* (2003) and *Stimmen... verstummen* (1986), in English, "*Voices... silenced*", which features a long conductor's solo; that is, a passage of measured silence, pure structured time. The creative use of silence and its surroundings is one of the hallmarks of Gubaidulina's style. Others are her recourse to rhythm as an organizing element, the use of the golden section and the Fibonacci sequence, economy of means and symbolic dualities; among them the transcendental opposition between the earthly (abundant, discontinuous, dramatic) and the divine (spare, continuous, calm), represented by the pairs sound/silence, tonality/microtonality, activity/stasis and others of that ilk.

Since 1992, Sofia Gubaidulina has been living in close to monastic solitude in the village of Appen, near Hamburg, where she regularly receives commissions from all around the world.



Más información:



More information:



**Nicholas Cook**

**Presidente del jurado**

Es catedrático de Música en la Universidad de Cambridge. Anteriormente fue *professorial research fellow* en la Royal Holloway de la Universidad de Londres, donde dirigió el Centro AHRC de Investigación de la Historia y el Análisis de Música Grabada (CHARM). Su libro *The Schenker project: Culture, race, and music theory in fin-de-siècle Vienna* recibió el Premio Wallace Berry de la Society for Music Theory. Su trabajo se centra en perspectivas sociales e interculturales sobre música, creatividad musical y multimedia digital, y está concluyendo un proyecto de tres años sobre musicología relacional.

**Chair of the jury**

Professor of Music at the University of Cambridge (United Kingdom). He was formerly Professorial Research Fellow at Royal Holloway, University of London, where he headed the AHRC Research Centre for the History and Analysis of Recorded Music (CHARM). His book *The Schenker Project: Culture, Race, and Music Theory in Fin-de-siècle Vienna* received the Wallace Berry Award of the Society for Music Theory. His current work focuses on social and intercultural perspectives on music, musical creativity and digital multimedia.



**Christina Scheppelmann**

**Secretaria del jurado**

Directora artística general del Gran Teatro del Liceu, Barcelona (España), en 2012 fue la primera directora general de la Royal Opera House de Muscat (Omán), el primer centro de este tipo en la Región del Golfo. Entre 2002 y 2012, fue directora artística de la Ópera Nacional de Washington, donde trabajó en estrecha colaboración con el director general Plácido Domingo. Anteriormente, tuvo las mismas responsabilidades en la Ópera de San Francisco y trabajó también en el Gran Teatro La Fenice (Venecia). Es comendadora de la Orden de la Estrella de la Solidaridad del Gobierno de Italia.

**Secretary of the jury**

Artistic Director General of the Gran Teatre del Liceu in Barcelona (Spain), in 2012 she was the first Director General of the Royal Opera House Muscat (Oman), the first of its kind in the Gulf Region. From 2002 to 2012 she was Director of Artistic Operations at Washington National Opera, where she worked in close collaboration with General Director Plácido Domingo. Before that, she held similar posts at the San Francisco Opera and the Gran Teatro La Fenice (Venice). She is Commendatore in the Order of the Star of Solidarity, an honor bestowed by the Italian government.



**Pwyll AP Siôn**

Musicólogo y compositor, es catedrático de Música en la Escuela de Música de la Universidad de Bangor (Reino Unido). Su investigación y docencia se centran en la música minimalista, las nuevas tonalidades del siglo XXI y la referencialidad en la música contemporánea. En 2007 coorganizó la I Conferencia Internacional de Música Minimalista y contribuyó a establecer la Sociedad para la Música Minimalista. Entre sus libros figuran *The Music of Michael Nyman*; *Michael Nyman: Collected writings*; *The Ashgate research companion to minimalist and postminimalist music*, así como *Rethinking Reich*, sobre la música de Steve Reich.

A musicologist and composer, he is currently Professor in Music at the School of Music of Bangor University (United Kingdom). His research and teaching interests include minimalist music, the new tonality of the 21st century and reference and quotation in contemporary music. In 2007 he co-organized the First International Conference on Minimalist Music and helped establish the Society for Minimalist Music. His book publications include *The Music of Michael Nyman*, *Michael Nyman: Collected Writings*, *The Ashgate Research Companion to Minimalist and Postminimalist Music* and *Rethinking Reich*, on the music of Steve Reich.



**Claire Chase**

Flautista y fundadora del International Contemporary Ensemble (ICE), Premio Ensemble del Año de Musical America Worldwide en 2014, y cuyo modelo organizativo centrado en los artistas recibió el Premio Trailblazer del American Music Center en 2010. Ha iniciado Density 2036, un proyecto de veintitrés años de duración con el fin de encargar un nuevo cuerpo de repertorio para flauta que precederá al centenario de la obra *Density 21.5*, de Edgard Varèse. Ha estrenado más de cien obras para flauta y es receptora, entre otras distinciones, del MacArthur Genius Fellowship.

Flutist and founder of the International Contemporary Ensemble (ICE), winner of the Ensemble of the Year Award in 2014 from Musical America Worldwide, and the 2010 Trailblazer Award from the American Music Center for its artist-driven organizational model. She recently began Density 2036, a 23-year project to commission a new body of repertory for the flute leading up to the 100th anniversary of Edgard Varèse's *Density 21.5*. She has given the world premieres of over 100 new works for flute and in 2012 was awarded a MacArthur Genius Fellowship.



**Cristóbal Halffter**

Desde 1970 es director invitado en las más importantes orquestas europeas, compositor asociado de la Sinfónica de Madrid, y miembro del Consejo de la Fundación Prince Pierre de Mónaco, el mismo puesto que ocupó hasta 2009 en la Fundación Ernst von Siemens para la Música. Entre las distinciones que ha recibido en España, Alemania, Francia y Mónaco, figuran la Medalla de Oro del Instituto Goethe y la de las Bellas Artes de España, donde obtuvo también el Premio Nacional de Música en 1953 y 2004. Es premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento 2009 en Música Contemporánea.

A guest conductor with Europe's top orchestras since 1970, he is also Associate Composer to the Madrid Symphony Orchestra and a member of the board of the Prince Pierre Foundation of Monaco, a post he also occupied up to 2009 with the Ernst von Siemens Musikstiftung. He has received multiple distinctions in Spain, Germany, France and Monaco, including the Gold Medal of the Goethe Institute and Spain's Gold Medal of Fine Arts and National Music Prize (this last in 1953 and 2004). Winner of the 2009 BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Contemporary Music.



**Tom Huizenga**

Productor musical y periodista para NPR Music (Estados Unidos). Colabora como especialista en música clásica en los informativos de NPR y gestiona el blog *Cadenca engañosa* de la cadena. Durante siete años ha sido productor, guionista y editor del programa diario de música clásica *Performance Today*, ganador del Premio Peabody, y de los programas *SymphonyCast* y *World of Opera*. Ha producido emisiones en directo de conciertos del Centro Kennedy, programas radiofónicos especiales y vídeos musicales con Joyce DiDonato, Lawrence Brownlee, Kronos Quartet y Yo-Yo Ma, entre otros.

Music producer and reporter for NPR Music (United States). He is a regular contributor of stories about classical music to NPR's news programs and hosts the station's blog *Deceptive Cadence*. He spent seven years as a producer, writer and editor for the Peabody Award-winning daily classical music show *Performance Today* and for programs *SymphonyCast* and *World of Opera*. He has produced live concert broadcasts from the Kennedy Center, radio specials, and music videos with Joyce DiDonato, Lawrence Brownlee, Kronos Quartet, Yo-Yo Ma and many others.



**Nicholas Kenyon**

Director ejecutivo del Centro Barbican desde 2007, ha sido director de los Proms de la BBC (1996-2007), editor de *Early Music* (1983-1992) y crítico musical para *The New Yorker*, *The Times* y *The Observer*. Fue nombrado *controller* de BBC Radio 3 en 1992 y fue responsable de las premiadas temporadas *Fairest Isle* y *Sounding the Century*. Supervisó la programación de la BBC para el Milenio y dirigió sus departamentos de Eventos en Directo y Música Clásica en TV. Es autor de libros sobre Bach, Mozart, Simon Rattle, la Orquesta Sinfónica de la BBC y música antigua.

Managing Director of the Barbican Centre since 2007, he has been director of the BBC Proms (1996-2007), editor of *Early Music* (1983-1992), and a music critic for *The New Yorker*, *The Times* and *The Observer*. He was appointed Controller of BBC Radio 3 in 1992, and was responsible for the award-winning seasons *Fairest Isle* and *Sounding the Century*. He oversaw the BBC's programming for the Millennium, and ran its Live Events and TV Classical Music departments. Author of books on Bach, Mozart, Simon Rattle, the BBC Symphony Orchestra and early music.



**Colin Matthews**

Director musical de la Fundación Britten-Pears, fundador y productor ejecutivo de NMC Recordings y administrador ejecutivo de la Fundación Holst. Codirige el Curso de Composición Aldeburgh y es director de composición del Panufnik Scheme de la Orquesta Sinfónica de Londres. Titular de la Cátedra de Composición Príncipe Consorte en el Royal College of Music de Londres, la tipología de sus obras abarca desde solos de piano hasta cuartetos de cinco cuerdas y trabajos orquestales. Ha sido compositor asociado de la Orquesta Sinfónica de Londres y es compositor emérito de la Orquesta Hallé de Mánchester.

Music Director of the Britten-Pears Foundation, Founder and Executive Producer of NMC Recordings, and Executive Administrator of the Holst Foundation. He is co-director of the Aldeburgh Composition Course, and composition director of the London Symphony Orchestra's Panufnik Scheme. Prince Consort Professor of Composition at the Royal College of Music, as a composer his music has ranged from solo piano music through five string quartets to orchestral works. He was associate composer with the London Symphony Orchestra and is currently Composer Emeritus of Manchester's Hallé Orchestra.

## Jurado

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento

## Música Contemporánea

### Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Música Contemporánea ha sido concedido en su novena edición a Sofia Gubaidulina sobre la base de sus destacadas cualidades musicales y personales.

Obras tan variadas como *Offertorium*, *Cántico al sol*, *Siete palabras* y *La Pasión según San Juan* demuestran la excepcional variedad y calidad de su música, construida a partir de una diversidad de tradiciones entendidas de manera individual e innovadora, utilizando una gama de instrumentos que a veces se inspiran en la música folclórica y la improvisación. Sus obras alcanzan una calidad espiritual siempre personal y de búsqueda, como la propia Gubaidulina ha declarado: «Vivo en un mundo de preguntas». La dimensión transformadora de su música ha asegurado su amplia difusión más allá de las audiencias convencionales de la música contemporánea.

Sofia Gubaidulina es un destacado ejemplo de compositora que ha perseguido su propia voz distintiva y ha seguido su conciencia a pesar de circunstancias políticas extremadamente difíciles, que llegaron a listas negras y denuncias. Su logro se basa en el coraje absoluto y la perseverancia. Son estas cualidades de fuerza individual e integridad artística las que se expresan a través de su música.

El premio a Sofia Gubaidulina se hace en reconocimiento al ejemplo inspirador que ella supone para todos los artistas creativos que buscan seguir su propio camino.

## Jury

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award

## Contemporary Music

### Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Contemporary Music has been granted, in this ninth edition, to Sofia Gubaidulina on the basis of outstanding musical and personal qualities.

Works as varied as *Offertorium*, *The Cantic of the Sun*, *Seven Words*, and *Johannes-Passion* demonstrate the exceptional range and quality of her music, which builds on a diversity of traditions in individual and innovative ways, using a range of instruments that sometimes draw on folk music and improvisation. Her works achieve a spiritual quality that is always personal and searching: as she has said, "I live in a world of questions." The transformative dimension of her music has ensured its broad dissemination beyond conventional audiences for contemporary music.

Sofia Gubaidulina is an outstanding example of a composer who has pursued her own distinctive voice and followed her conscience despite extremely difficult political circumstances that extended to blacklisting and denunciation. Her achievement is one of uncompromising courage and perseverance. It is these qualities of individual strength and artistic integrity that are expressed through her music.

The award to Sofia Gubaidulina is made in recognition of the inspiring example she sets to all creative artists who seek to follow their own path.

«La última vez que el planeta estuvo un grado más caliente el nivel del mar era muy superior al actual. Si dejamos que ocurra de nuevo perderemos todas las ciudades costeras.»

“The last time the planet was one degree hotter, sea level was considerably higher than it is today. If we allow that to happen again, we will lose all our coastal cities.”

James E. Hansen

«No podemos asegurar que no será peligroso el calentamiento por debajo de los 2 °C. Lo que sí sabemos es que debemos hacer todo lo posible para minimizar el cambio climático.»

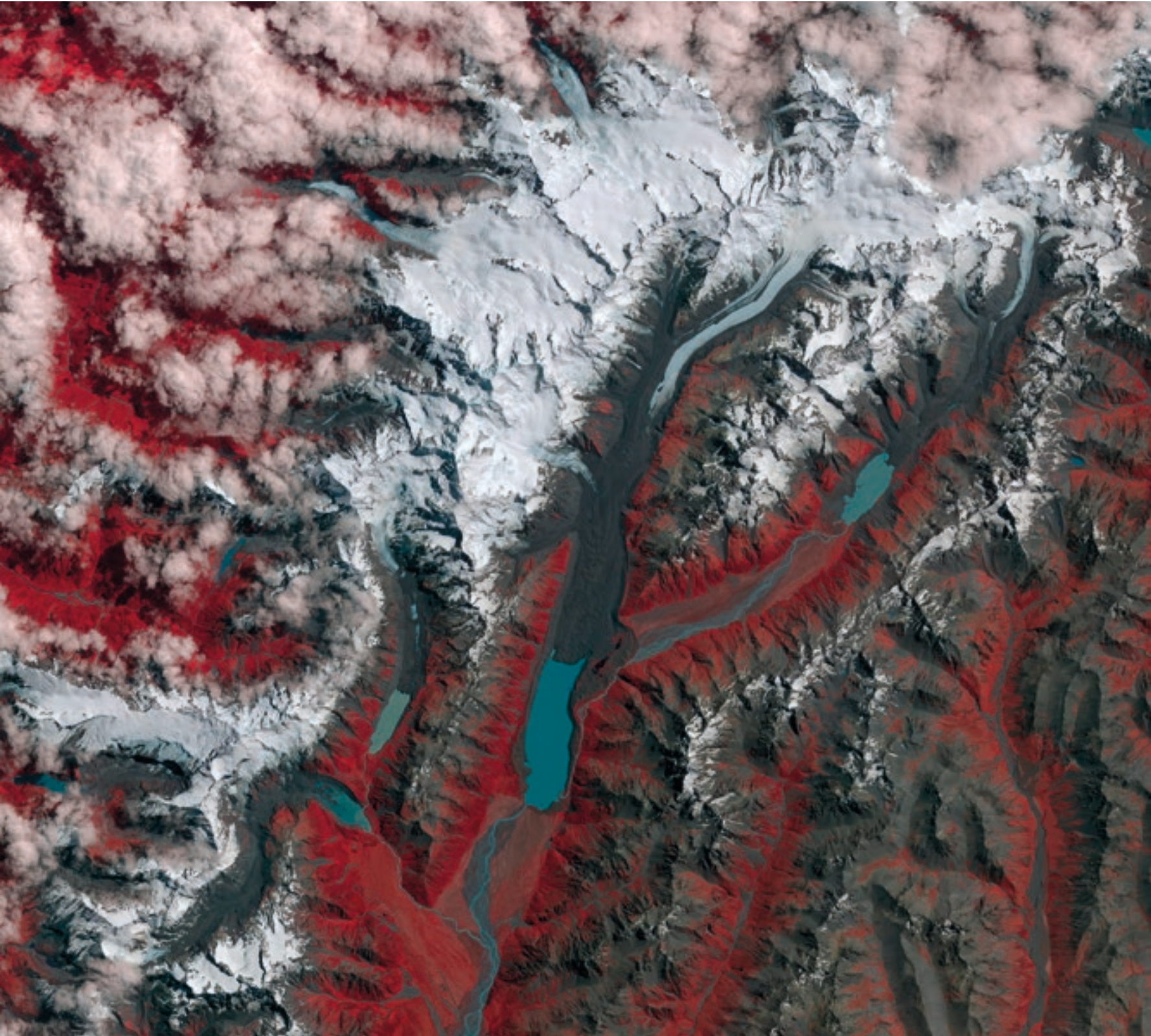
“We cannot say for sure whether warming might be harmful below 2°C. What we do know is that we must make every possible effort to minimize climate change.”

Syukuro Manabe

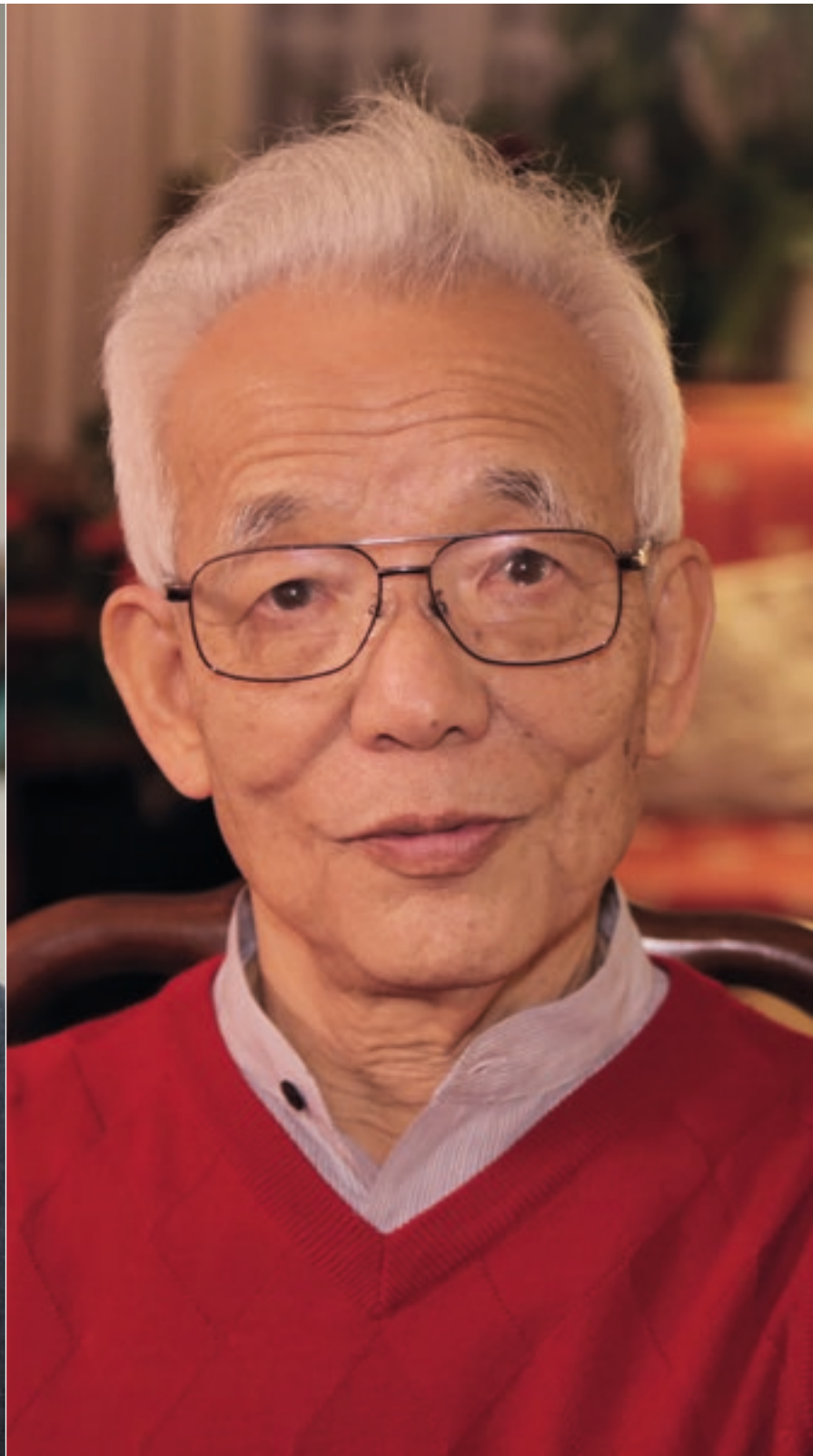


Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cambio Climático**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Climate Change**







# James E. Hansen

# Syukuro Manabe

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cambio Climático**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Climate Change**

67

## Los modelos pioneros del cambio climático

El primer modelo de clima de circulación global fue programado en un ordenador que ocupaba una estancia entera y tenía solo medio megabyte de memoria. Ocurrió en 1969. El programa trabajó durante cincuenta días en el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de la NOAA (Agencia Estadounidense del Océano y la Atmósfera) para finalmente depositar su resultado en manos del investigador Syukuro Manabe. Se considera un hito: la primera simulación matemática que recreó correctamente los procesos físicos y químicos globales que dan lugar al clima. Manabe recibe ahora, junto con el también climatólogo James Hansen, el Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Cambio Climático.

Ambos investigadores, trabajando de manera independiente, crearon los primeros modelos computacionales que integraban todos los factores importantes del clima y además predijeron cuánto subiría la temperatura de la Tierra por el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

Syukuro Manabe (Prefectura de Ehime, Japón, 1931) fue el primero en aplicar al área del clima la potencia de cálculo de los ordenadores. Su intención inicial no era otra que mejorar la predicción meteorológica, porque por entonces el problema del cambio climático no existía para la ciencia —el químico sueco Svante Arrhenius había predicho a finales del siglo XIX que la quema de combustibles fósiles calentaría el planeta, aunque nadie había recogido su testigo—.

Manabe se había doctorado en Meteorología por la Universidad de Tokio en 1958. Poco después, ante la falta de trabajo en plena posguerra en su país, había viajado a Estados Unidos para colaborar con un investigador del U.S. Weather Bureau que traba-

## Pioneers of climate change modeling

The first ever global climate circulation model was programmed on a computer occupying a whole room and with only half a megabyte of memory. The year was 1969. The program was run for fifty days in the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory at NOAA (America's National Oceanic and Atmospheric Administration) before finally delivering its results into the hands of researcher Syukuro Manabe. This is viewed as a milestone moment: the first mathematical simulation accurately recreating the global physical and chemical processes giving rise to climate. Manabe is now co-winner, along with fellow climatologist James Hansen, of the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Climate Change.

The two scientists arrived independently at the first computer models integrating all major climate factors, and were able to predict how much Earth's temperature would rise in line with increasing atmospheric CO<sub>2</sub>.

Syukuro Manabe (Ehime Prefecture, Japan, 1931) was a pioneer in applying the calculating power of computers to the climate domain. His initial goal was simply to improve meteorological forecasting, for at that time the climate change issue was not on the radar of science. The Swedish chemist Svante Arrhenius had warned in the late 19th century that fossil fuel combustion would lead to planetary warming, but no one had yet heeded the call.

Manabe earned a PhD in Meteorology from the University of Tokyo in 1958. Not long after, urged on by the lack of opportunities in post-war Japan, he moved to the United States to work with a researcher at the U.S. Weather Bureau who, like him, was specialized in rainfall prediction. In 1963, he joined the Geophysical

Manabe y Hansen crearon los primeros modelos computacionales de simulación del clima, y ya en los años setenta lograron predecir cuánto subiría la temperatura del planeta por el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico.

Manabe and Hansen came up with the first computational models able to simulate climate behavior, and by the 1970s had predicted how much Earth's temperature would rise due to increasing atmospheric CO<sub>2</sub>.

jaba en su mismo campo: la predicción de lluvias. En 1963 se incorporó al Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de la NOAA. El uso de ordenadores permitió a Manabe introducir en los modelos los elementos importantes para el clima, como el vapor de agua, los vientos o el transporte del calor en la atmósfera. Simular este último punto, no obstante, exigía introducir también el efecto de los gases de efecto invernadero, y por esa razón Manabe acabó fijándose en el CO<sub>2</sub>.

Así, a finales de los años sesenta el modelo de Manabe ya predijo que si la concentración de CO<sub>2</sub> se duplicaba, la temperatura media del planeta subiría 2 °C.

Por entonces James E. Hansen (Denison, Iowa, Estados Unidos, 1941) acababa de doctorarse en Física. Había sido becario en la agencia espacial NASA y visitado el Departamento de Astronomía de la Universidad de Tokio, donde estudió trabajos de Manabe. En 1967 se incorporó al Instituto Goddard para Estudios Espaciales de la NASA con el fin de investigar la atmósfera de Venus. Venus no es el planeta más próximo al Sol, pero sí el más cálido —hasta 500 °C—, y Hansen contribuyó a demostrar que esas altas temperaturas se deben a un efecto invernadero exacerbado.

Ese hallazgo hizo dar un viraje a la carrera científica de Hansen. Justo en esos años se empezaba a constatar el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, y los científicos se preguntaban qué efectos tendría el fenómeno. Hansen pensó que era más importante estudiar la Tierra que otros planetas dadas las «grandes consecuencias, para muchas personas, de cualquier cambio en el clima», explica. Desarrolló entonces un modelo que predijo un aumento de hasta 4,5 °C en el siglo XXI.

El trabajo, publicado en 1981, incluía dos novedades: por primera vez se tenía en cuenta datos de temperatura de todo el planeta —el propio Hansen había desarrollado un método para extraer esa información de las estaciones meteorológicas disponibles— y además se predecía el efecto del calentamiento sobre otros procesos, como la circulación oceánica, la disminución del hielo en el Ártico o las sequías y las inundaciones.

Fluid Dynamics Laboratory at NOAA. The availability of computers meant Manabe could factor key climate elements into his models, among them water vapor, winds and atmospheric heat transport. To simulate the latter, however, he also had to input greenhouse gas effects, which drew his focus to CO<sub>2</sub>.

By the end of the 1960s, Manabe's model was predicting that if CO<sub>2</sub> concentrations doubled, average world temperatures would rise by 2°C.

James E. Hansen (Denison, Iowa, United States, 1941) had at the time just completed a PhD in Physics. His training had included a scholarship at NASA and stints as a visiting student in the Astronomy Department at the University of Tokyo, where he became acquainted with Syukuro Manabe's work. In 1967 he joined the staff at NASA's Goddard Institute for Space Studies, researching on the atmosphere of Venus. Venus is not the closest planet to the Sun but it is certainly the hottest – up to 500°C – and his work there helped establish that these extremely hot temperatures are due to an exacerbated greenhouse effect.

This finding was to mark a turning point in Hansen's scientific career. It was by then becoming increasingly clear that atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations were on the rise, and scientists were wondering what the effect might be. For Hansen, this signaled the moment to switch to the study of our own planet, given what he describes as “the unfathomable consequences for countless people of any variation in the climate.” His model indicated that world temperatures would rise by up to 4.5°C in the course of the 21st century.

The paper he published in 1981 featured two innovations: it was the first to incorporate global temperature figures – thanks to a method of his invention for gathering data from available meteorological stations; and it also anticipated how warming would affect other processes, like oceanic circulation, the loss of Arctic ice cover or cycles of droughts and flooding.

Manabe and Hansen's models are the forerunners of the dozens of climate models now in use, whose reliability scientists know they can trust. “Looking back on how the climate has changed in the last few de-



Los modelos de Manabe y Hansen son los ancestros de las decenas de modelos climáticos que se usan en la actualidad, y cuya fiabilidad no plantea dudas a los científicos. «Basándonos en cómo ha cambiado el clima en las últimas décadas y en cómo los modelos han reproducido esos cambios, estamos bastante seguros de sus predicciones para el futuro», dice Manabe, que desde 2005 es meteorólogo senior del Programa de Ciencias Atmosféricas y Oceánicas de la Universidad de Princeton (Estados Unidos). Y advierte: «Es muy difícil decir a partir de qué temperatura es peligroso el cambio; lo que podemos asegurar es que si el calentamiento supera los 2 °C será más peligroso, y que cuanto menos cambie el clima, mejor. Así que debemos hacer todo lo posible por minimizar el cambio climático».

James Hansen, director del Instituto Goddard para Estudios Espaciales entre 1981 y 2013, y actualmente profesor en el Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia, subraya la «primera gran conclusión» de su trabajo: que el clima es muy sensible a la acción humana. Las grandes variaciones en la extensión de los casquetes polares entre las distintas eras glaciares se deben a cambios pequeños en la órbita terrestre; la perturbación que provoca en el clima la quema de combustibles fósiles, expone Hansen, es aún más potente. «Los cambios ya han comenzado, y habrá más», advierte. «La última vez que el planeta estuvo un grado más caliente fue en el periodo interglacial, hace unos 120.000 años, y el nivel del mar era entre 6 y 9 metros superior al actual. Si dejamos que eso ocurra de nuevo, perderemos todas las ciudades costeras».

«...decades, and how models have captured these changes, we can be pretty sure about their forward projections,” remarks Manabe, since 2005 Senior Meteorologist on the Program in Atmospheric and Oceanic Sciences at Princeton University (United States). He warns: “It is very hard to say as of what temperature the change becomes dangerous. What we do know is that warming will be more dangerous if it exceeds 2°C, and the less the climate changes, the better for us all. So we must do everything we can to minimize climate change.”

Hansen, Director of the Goddard Institute for Space Studies from 1981 to 2013, and currently a professor at Columbia University’s Earth Institute, points up the “first big conclusion” of his work: that climate is acutely sensitive to human action. The large variations in the size of the polar ice caps between glacial periods are due to small changes in the Earth’s orbit, and the climatic perturbation caused by the burning of fossil fuels is, he affirms, more powerful still. “The changes have started and there are more to come,” he cautions. “The last time the planet was one degree hotter was during the interglacial period, some 120,000 years ago, and sea level was between 6 and 9 meters higher than it is today. If we allow that to happen again, we will lose all our coastal cities.”



Más información:



More information:





**Bjorn Stevens**

**Presidente del jurado**

Es director del Instituto Max Planck de Meteorología (Hamburgo, Alemania), donde dirige el Departamento La Atmósfera en el Sistema Terrestre. Su investigación ha generado contribuciones fundamentales para la comprensión de la convección atmosférica, los aerosoles y las nubes, así como el papel de estos tres factores en el sistema climático. Es premio Clarence Leroy Meisinger de la Sociedad Americana de Meteorología y autor principal del Quinto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

**Chair of the jury**

Director of the Max Planck Institute for Meteorology (Hamburg, Germany), where he heads the Atmosphere in the Earth System Department. His research has made fundamental contributions to the understanding of atmospheric convection, aerosols and clouds, and the influence of these three factors on the climate system. He holds the Clarence Leroy Meisinger Award of the American Meteorological Society and served as a lead author of the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).



**Carlos M. Duarte**

**Secretario del jurado**

Es director del Centro de Investigación Mar Rojo y titular de la Cátedra Tarek Ahmed Juffali en Ecología del Mar Rojo en la Universidad Rey Abdullah de Ciencia y Tecnología (Thuwal, Arabia Saudí). Su investigación se centra en comprender los impactos del cambio global en los ecosistemas marinos, abordando todos sus componentes: desde los microbios a la megafauna. Entre otros, ha recibido el Premio Nacional de Investigación Alejandro Malaspina y el Premio de la Excelencia del Consejo Internacional para la Exploración del Océano (ICES).

**Secretary of the jury**

Director of the Red Sea Research Center and holder of the Tarek Ahmed Juffali Research Chair in Red Sea Ecology at King Abdullah University of Science and Technology (Thuwal, Saudi Arabia). His research pursues an understanding of the impacts of climate change on marine ecosystems, addressing all components from microbes to megafauna. Among other honors, he has received the Alejandro Malaspina National Research Award and the Prix d'Excellence of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES).



**Scott Barrett**

Es titular de la Cátedra Lenfest-Earth Institute de Economía de los Recursos Naturales en la Escuela de Asuntos Públicos e Internacionales y el Earth Institute de la Universidad de Columbia. Sus investigaciones se centran en retos globales y transnacionales como el cambio climático o las enfermedades infecciosas. Ha asesorado a numerosas organizaciones internacionales entre las que se encuentran las Naciones Unidas, el Banco Mundial, la OCDE o la Comisión Europea. Ha sido autor principal en el IPCC y miembro del Panel Académico del Departamento de Medio Ambiente en el Reino Unido.

Lenfest-Earth Institute Professor of Natural Resource Economics at the School of International and Public Affairs and the Earth Institute of Columbia University (United States), his research focuses on transnational and global challenges from climate change to infectious diseases. He has advised a number of international organizations, including the United Nations, the World Bank, the OECD, and the European Commission, and was previously a lead author for the IPCC and a member of the Academic Panel to the Department for Environment in the United Kingdom.



**Sandrine Bony**

Es investigadora principal en el Laboratorio de Meteorología Dinámica/ Instituto Pierre-Simon Laplace (LMD/IPSL) de París, un centro conjunto del Centro Nacional de Investigación Científica y la Universidad Pierre y Marie Curie. Dirige el equipo de modelos climáticos del LMD y codirige el grupo de trabajo sobre modelos acoplados del Programa Mundial de Investigación del Clima, que coordina las simulaciones realizadas en todo el mundo y cuyas predicciones sirven de apoyo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Es autora principal del Cuarto Informe del IPCC.

Senior scientist at the Laboratoire de Météorologie Dynamique/Institute Pierre-Simon Laplace (LMD/IPSL) in Paris, run jointly by the Centre National de la Recherche Scientifique and the Université Pierre et Marie Curie. As well as heading the LMD's climate modeling team, she co-chairs the World Climate Research Program's Working Group on Coupled Modeling, which coordinates the climate simulations run by teams round the world and whose predictions serve as input to the Intergovernmental Panel on Climate Change. She was a lead author of the IPCC's Fourth Assessment Report.



**Miquel Canals**

Es director del Departamento de Estratigrafía, Paleontología y Geociencias Marinas de la Universidad de Barcelona (España). Investiga los efectos del cambio climático en la dinámica y el ecosistema marinos, en particular la transferencia de la señal del cambio global hacia el océano profundo mediante procesos naturales de alta energía. Ha sido director asociado de Investigación del Centro de Formación e Investigación del Medio Marino (CEFREM) de la Universidad de Perpiñán (Francia) y experto evaluador para la Comisión Europea o la Fundación Europea de la Ciencia.

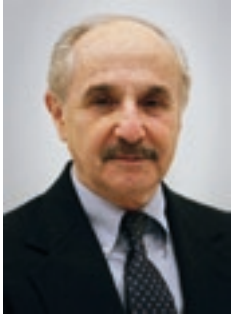
Chairman of the Stratigraphy, Paleontology and Marine Geosciences Department at the University of Barcelona (Spain). His research concerns the effects of climate change on ocean dynamics and marine ecosystems, focusing on the transfer of the global change signal to the deep ocean by high-energy natural processes. Formerly Associate Director of Research in the University of Perpignan's Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin (France), he has served as expert evaluator for the European Commission and the European Science Foundation.



**Martin Heimann**

Director del Departamento de Sistemas Biogeoquímicos del Instituto de Biogeoquímica Max Planck (Jena, Alemania), es catedrático en la Universidad Friedrich Schiller (Jena) y profesor invitado en la Universidad de Helsinki. Su investigación aborda el ciclo global del carbono y los ciclos biogeoquímicos e interacciones con los sistemas climáticos. Es miembro de la Academia Europaea, la Sociedad Max Planck y autor principal del Grupo de Trabajo I de distintos informes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Editor de diversas revistas científicas, es *review editor* de *Science*.

Director of the Department of Biogeochemical Systems at the Max Planck Institute for Biogeochemistry (Jena, Germany), he is a professor at Friedrich Schiller University (Jena) and guest professor at Helsinki University. His research centers on the global carbon cycle and biogeochemical cycles and their interactions with the climate system. A member of the Academia Europaea and Max Planck Society, he has contributed as a lead author of Working Group I to reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change and serves as editor of various scientific journals and Review Editor of *Science*.



**Edward S. Rubin**

Es catedrático de Ingeniería y Política Pública y *alumni chair professor* de Ciencia e Ingeniería Medioambiental en la Universidad Carnegie Mellon (Estados Unidos), donde fundó el Centro para la Energía y Estudios Medioambientales, y el Instituto Medioambiental. Investiga sobre energía y medio ambiente, con un enfoque específico en mitigación del cambio climático, innovación tecnológica e interacciones entre políticas y tecnología. Recibió el Lyman A. Ripperton Environmental Educator Award y el Distinguished Professor of Engineering Award.

Professor of Engineering and Public Policy and Alumni Chair Professor of Environmental Engineering and Science at Carnegie Mellon University (United States), where he was also founding director of the Center for Energy and Environmental Studies and the Environmental Institute. His areas of research are energy and the environment, with a focus on climate change mitigation, technology innovation, and technology-policy interactions. His achievements have been recognized with the Lyman A. Ripperton Environmental Educator Award and the Distinguished Professor of Engineering Award.



**Julie Winkler**

Es catedrática de Geografía en el Departamento de Geografía, Medio Ambiente y Ciencia Espacial en la Universidad de Michigan (Estados Unidos). Su investigación incluye climatología aplicada, climatología sinóptica, uso de proyecciones en evaluaciones de cambio climático e impactos de la variabilidad del clima en la agricultura y los recursos naturales. Ha presidido la Asociación Americana de Geógrafos (AAG) y, entre otros galardones, ha recibido el Premio Charles Franklin Brooks de la Sociedad Meteorológica Americana.

Professor of Geography in the Department of Geography, Environment and Spatial Sciences at Michigan State University (United States). Her research interests include applied climatology, synoptic climatology, the use of climate projections in climate change assessments, and the potential impacts of climate variability and change on agriculture and natural resources. A former president of the American Association of Geographers (AAG), her distinctions include the Charles Franklin Brooks Award of the American Meteorological Society.

## Jurado

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cambio Climático**

### Mención del acta

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Cambio Climático ha sido concedido en su novena edición a Syukuro Manabe y James E. Hansen por sus contribuciones fundamentales al desarrollo de modelos matemáticos del sistema climático, y por el uso pionero de estos modelos para proyectar la respuesta del clima de la Tierra a los cambios en las concentraciones del CO<sub>2</sub> atmosférico y a otras perturbaciones. Sus contribuciones seminales están en la base de los modelos y marcos de análisis que hoy se utilizan.

En los años sesenta del siglo pasado, Manabe desarrolló modelos matemáticos con base en la física que describían la interrelación entre los flujos de energía radiante y de convección, y su interacción con otros componentes del sistema climático. Estos modelos le permitieron cuantificar el efecto de la composición de la atmósfera y las perturbaciones solares en la temperatura global. A mediados de los setenta, Hansen, que había estado estudiando atmósferas planetarias, adaptó modelos similares para empezar a estudiar el clima de la Tierra. Los cálculos realizados por ambos investigadores formaron la base de la primera evaluación de la sensibilidad de la respuesta de la temperatura de la superficie del Planeta a la duplicación del CO<sub>2</sub> atmosférico. A partir de este abordaje, Hansen hizo proyecciones de temperaturas en respuesta a perturbaciones cambiantes en el tiempo. Sus predicciones, incluyendo cuándo se alejaría el calentamiento por CO<sub>2</sub> de la variabilidad natural, han resistido el paso del tiempo.

A través de minuciosos análisis críticos, Hansen y Manabe cuantificaron los factores que controlan la magnitud de la respuesta de la temperatura superficial de la Tierra a perturbaciones externas. Los métodos de análisis que desarrollaron han sido esenciales para identificar las fuentes primarias de incertidumbre en las predicciones de los cambios futuros en el clima.

## Jury

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Climate Change**

### Excerpt from award citation

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Climate Change goes, in this ninth edition, to Syukuro Manabe and James E. Hansen for their foundational contributions to the development of mathematical models of the climate system, and their pioneering use of these models to understand and project how Earth's climate responds to changing concentrations of atmospheric CO<sub>2</sub> and other perturbations. Their seminal contributions underlie the modeling and analysis frameworks in use today.

In the 1960s, Manabe developed physics-based mathematical models describing the interplay between radiative and convective energy flows, and their interaction with other components of the climate system. These models allowed him to quantify the effect of atmospheric composition and solar perturbations on global temperature. In the mid-1970s Hansen, who had been studying planetary atmospheres, adapted similar models to begin studying Earth's climate. Calculations by both researchers formed the basis for the first assessment of the sensitivity of Earth's equilibrium surface temperature response to a doubling of atmospheric CO<sub>2</sub>. Hansen built upon these approaches to project how surface temperatures would evolve in response to time varying perturbations. His projections, including one on when warming by CO<sub>2</sub> would leave the envelope of natural variability, have stood the test of time.

Through painstaking critical analyses, Hansen and Manabe quantified factors controlling the magnitude of the surface temperature response to external perturbations. The analysis methods they developed have become central to identifying the primary sources of remaining uncertainty in predictions of future climate change.

«Toda muerte por malaria, una enfermedad que se puede prevenir y tratar, es simplemente inaceptable.»

“Any death from malaria, a preventable and treatable disease, is simply unacceptable.”

Pedro L. Alonso

«Necesitamos que enfermedades como la leishmaniasis y el mal de Chagas sean conocidas también en el mundo desarrollado para conseguir más fondos con que combatirlas.»

“We need to build public awareness in the developed world about conditions like leishmaniasis and Chagas disease, so we can raise sufficient funds to fight them.”

Peter J. Myler



Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cooperación al Desarrollo**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Development Cooperation**







# Pedro L. Alonso

# Peter J. Myler

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cooperación al Desarrollo**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Development Cooperation**

75

## **La lucha contra la pobreza empieza en el laboratorio**

Bien entrado ya el siglo XXI, una de las principales amenazas para el desarrollo humano sigue siendo los parásitos, que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) roban anualmente a la humanidad más de 55 millones de años de vida saludable. En 2015 solo el parásito *Plasmodium* infectó a 212 millones de personas, de las que 429.000 murieron. Y sin embargo, la enfermedad causada por el *Plasmodium*, la malaria, es hoy totalmente prevenible y curable. ¿Cómo se explica esta paradoja? La pista la da el sobrenombre con que se conoce a las infecciones parasitarias: enfermedades *de los pobres*. Es la pobreza lo que multiplica el potencial devastador de estas dolencias, y son ellas las que a su vez, en una simbiosis perversa, lastran la economía de los países donde son endémicas. «La malaria sigue siendo una de las principales causas y consecuencias de la pobreza y la desigualdad: frena el desarrollo económico, impide que los niños vayan a la escuela, agota los sistemas nacionales de salud», según se recoge en la Estrategia Técnica Global contra la Malaria 2016-2030.

Pero también hay buenas noticias. La prevalencia de las enfermedades infecciosas y parasitarias se ha reducido en los últimos años, y los avances en el conocimiento en esta área permiten suponer que la tendencia se mantendrá en el medio y largo plazo. El trabajo de los investigadores Pedro Alonso y Peter Myler, ganadores del Premio Fronteras del Conocimiento en Cooperación al Desarrollo, tiene mucho que ver en ello. Las contribuciones de Alonso han sido determinantes para lograr una reducción de hasta el 60 por ciento en la mortalidad por malaria en los últimos 15 años; la investigación de Myler se considera indispensable para el desarrollo de cualquier futuro fármaco o vacuna contra estas enfermedades.

## **The war against poverty begins in the lab**

This far into the 21st century, parasites are still one of the greatest threats to human development. According to the World Health Organization (WHO), they are responsible annually for the loss of over 55 million healthy life years. In 2015 the *Plasmodium* parasite alone infected 212 million people, of whom 429,000 died. Yet malaria, the disease caused by *Plasmodium*, is already 100% preventable and curable. How to explain this paradox? The clue lies in the name commonly used to refer to these parasitic infections: diseases “of poverty.” It is poverty that multiplies the destructive power of these conditions, and they, in turn, debilitate the economies of the countries where they are endemic, in a kind of perverse symbiosis. In the words of the Global Technical Strategy for Malaria 2016-2030: “Malaria remains a major cause and consequence of poverty and inequity worldwide. It impedes economic development, stops children going to school, and absorbs the capacity of national systems to respond effectively to health security threats.”

But there is good news too. The prevalence of infectious and parasitic diseases has declined in recent years, and advances in knowledge in this area give cause to believe that the trend will persist in the medium and long run. The work of researchers Pedro Alonso and Peter Myler, winners of the Frontiers of Knowledge Award in Development Cooperation, are a big part of this success. Alonso’s contributions have been instrumental in achieving a 60 percent reduction in mortality rates over the past 15 years; Myler’s research is opening vital avenues for the development of future drugs or vaccines against these diseases.

Pedro L. Alonso (Madrid, Spain, 1959) is Professor of Global Health at the University of Barcelona, and,



Alonso y Myler han logrado avances clave contra enfermedades que constituyen el mayor problema médico de los países en desarrollo. El trabajo de Alonso ha posibilitado una reducción de hasta el 60 por ciento en la mortalidad por malaria. La investigación de Myler se considera indispensable para el desarrollo de cualquier futuro fármaco o vacuna contra las enfermedades parasitarias.

Alonso and Myler have advanced the fight against diseases that impose a huge medical burden on developing countries. Alonso's efforts have enabled an up to 60 percent reduction in malaria mortality rates. Myler's research has opened vital routes to develop future vaccines and treatments against parasitic diseases.

Pedro L. Alonso (Madrid, España, 1959) es catedrático de Salud Internacional en la Universidad de Barcelona, y desde 2014 dirige el Programa Mundial de la Malaria de la Organización Mundial de la Salud en Ginebra (Suiza). Su primer gran logro, publicado en 1991 en *The Lancet*, fue demostrar que las mosquiteras impregnadas con insecticida protegen contra la malaria, algo sobre lo que no había evidencias claras y que incluso se había vuelto controvertido. El equipo de Alonso zanjó la polémica mediante un ensayo en Gambia cuyos resultados positivos fueron posteriormente corroborados por otros grupos de investigación. Durante la pasada década se distribuyeron más de mil millones de estas mosquiteras, hoy convertidas «en la herramienta central en la lucha contra la malaria», explica el propio Alonso: «Tecnología de bajo coste pero enorme impacto». Se atribuye a las mosquiteras el reciente descenso de la mortalidad por malaria, que supone casi seis millones de vidas salvadas, sobre todo de niños pequeños africanos.

Alonso dirigió también los primeros estudios que demostraban que la vacunación sí puede ser una estrategia efectiva contra la malaria, algo que no resultaba obvio dada la extrema complejidad del parásito. Más recientemente, ha liderado el ensayo de la vacuna considerada hoy más avanzada (RTS,S), que la OMS aplicará en proyectos piloto en África subsahariana en 2018.

Pedro Alonso, no obstante, destaca otro aspecto de su trayectoria: «Me siento orgulloso de haber contribuido a consolidar centros de investigación de excelencia, tanto en Barcelona como en uno de los países más pobres del mundo, Mozambique, dirigido por investigadores mozambicanos». El Centro de Investigación en Salud de Manhica (CISM), en Mozambique, fue creado en 1996 y es actualmente líder en su área. En 2010, Alonso fundó el Instituto de Salud Global de Barcelona (ISGlobal).

La mayor parte de la carrera de Peter J. Myler (Rockhampton, Australia, 1956) se ha desarrollado físicamente muy cerca de los parásitos; pero no de los parásitos *salvajes*, sino de los cultivados con fines de investigación en el insectario de alta seguridad del

since 2014, Director of the WHO Global Malaria Program in Geneva (Switzerland). His first big breakthrough, published in *The Lancet* in 1991, was to show that insecticide-treated bed nets protect against malaria, an approach then viewed with a degree of skepticism in the absence of clear supporting evidence. Alonso's team laid the controversy to rest through a trial in The Gambia, whose positive findings were later corroborated by other research groups. Over one billion bed nets have been distributed in the past ten years, making them "the front-line resource in the fight against malaria," Alonso explains, describing them as "low-cost technology but hugely effective." Bed nets are widely credited with bringing about the recent decrease in malaria mortality, equivalent to almost six million lives saved, many of them of young African children.

Alonso also led the first studies to prove that vaccination could be an effective strategy against malaria, a concept doubted at the time given the parasite's extreme complexity. More recently, he headed trials of what is now considered the most advanced vaccine available, RTS,S, which the WHO will implement in pilot schemes in Sub-Saharan Africa in the year 2018.

Pedro Alonso, however, shifts the focus to another strand of his enterprise: "I am proud of having helped establish research centers of excellence, in Barcelona but also in one of the world's poorest countries, Mozambique, led by Mozambican scientists." Manhica Health Research Centre (CISM) in Mozambique was founded in 1996 and is currently a global leader in its area. In 2010, Alonso set up the Barcelona Institute for Global Health (ISGlobal).

Peter J. Myler (Rockhampton, Australia, 1956) has spent most of his career in close physical proximity to parasites; not "wild" parasites, this time, but those cultured for research purposes in the high-security insectarium at the Center for Infectious Disease Research in Seattle, United States.

For though he may not have done much fieldwork, Myler has a thoroughgoing knowledge of parasites and their vectors – in the case of *Plasmodium*, the *Anopheles* mosquito – that encompasses their genes,

Centro de Investigación de Enfermedades Infecciosas en Seattle, Estados Unidos.

Porque aunque Myler no haya llevado a cabo mucho trabajo de campo, posee un profundo conocimiento sobre los parásitos y sus vectores — en el caso del *Plasmodium*, el mosquito *Anopheles*—: conoce sus genes, la estructura de sus proteínas... La razón es que Myler es pionero en la aplicación de las tecnologías de la biología moderna a las enfermedades endémicas de países en desarrollo. Proporciona así un tipo de información indispensable para buscar nuevos tratamientos o vacunas: «El genoma es como el libro de instrucciones de un organismo», explica, «nos permite conocer todos sus mecanismos internos para hallar nuevas herramientas capaces de combatirlo».

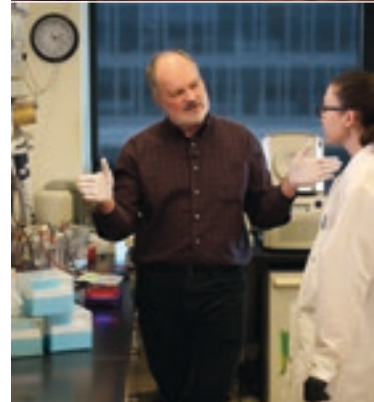
Myler empezó su carrera investigando en malaria en la Universidad de Queensland (Australia) y después viajó a Estados Unidos. En 2005 lideró el proyecto para secuenciar el genoma de los parásitos *Leishmania* y *Trypanosoma cruzi*, que causan la muerte de decenas de miles de personas cada año, a pesar de que, como la malaria, son enfermedades tratables.

Peter Myler es director del Centro de Genómica Estructural para Enfermedades Infecciosas de Seattle. El conocimiento básico que aporta su trabajo ha permitido identificar decenas de nuevas dianas farmacológicas. Ya hay varios fármacos en ensayo producto de sus aportaciones, aunque Myler advierte de que ninguno de ellos será la solución definitiva: «Los parásitos están continuamente volviéndose resistentes, por lo que siempre tendremos que estar desarrollando nuevos fármacos».

their protein structure, etc. This is because Myler is a pioneer in the application of modern biology technologies to the endemic diseases of developing countries. The resulting information is vital in the search for new treatments or vaccines: “The genome is like an organism’s parts list,” he explains. “It tells us about its internal mechanisms so we can find new tools to combat it effectively.”

Myler began his career researching into malaria at the University of Queensland in his native Australia, before moving to the United States. In 2005 he led the project that sequenced the genome of parasites *Leishmania* and *Trypanosoma cruzi*, which claim tens of thousands of lives each year, even though the conditions they cause are, like malaria, readily treatable.

Peter Myler is Director at the Seattle Structural Genomics Center for Infectious Disease, and the basic knowledge generated in his work has enabled identification of dozens of new pharmacological targets. A number of drugs now at the trial stage are a product of Myler’s contributions, though he is quick to warn that none of them will provide a definitive solution: “Parasites are continually turning resistant, so we will need to keep on developing the next round of drugs.”

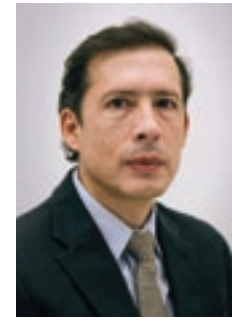


Más información:



More information:





**Joachim von Braun**

**José García Montalvo**

**Antonio Ciccone**

**Vicente Larraga**

**Norman Loayza**

**Francisco Pérez**

**Presidente del jurado**

Es catedrático y director del Departamento de Cambio Económico y Tecnológico en el Centro para la Investigación del Desarrollo (ZEF) de la Universidad de Bonn (Alemania). Su investigación se dirige al desarrollo y la economía agrícola: mercado y comercio, pobreza, salud y nutrición, agricultura, y ciencia y tecnología. Es miembro de la Academia de Ciencias de Renania del Norte-Westfalia, la Academia Alemana de Ciencia e Ingeniería (acatech) y la Academia Pontificia de las Ciencias, además de *fellow* de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS).

**Secretario del jurado**

Catedrático de Economía en la Universidad Pompeu Fabra (Barcelona, España) y director del Departamento de Economía y Empresa de esta misma universidad, es profesor investigador del Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Ivie). Sus áreas de investigación son la economía del desarrollo, los conflictos y las etnias, el mercado inmobiliario y la economía de la educación. Autor de más de un centenar de artículos científicos, es *research professor* en la Barcelona Graduate School of Economics y *research fellow* en la Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA-Academia).

Es catedrático del Departamento de Economía de la Universidad de Mannheim (Alemania), catedrático del Departamento de Economía y Empresa en la Universidad Pompeu Fabra (Barcelona, España), además de profesor de investigación ICREA y miembro del CESifo. Investiga en macroeconomía, comercio internacional y productividad, conflictos violentos y cambios democráticos, asignación de recursos intersectoriales y capital humano y crecimiento. Es *research fellow* del Centro de Investigación en Política Económica (CEPR), donde coordinó el Grupo de Investigación de Macroeconomía y Crecimiento Económico.

Profesor de investigación y exdirector del Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC, donde dirige el Laboratorio de Parasitología Molecular (Madrid, España). Actualmente trabaja en el desarrollo de vacunas recombinantes frente a la leishmaniasis y en la activación génica durante el mecanismo de protección frente al parásito. Pertenece a la Academia de Ciencias de Nueva York, la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular o la Sociedad Española de Medicina Tropical y Salud Internacional. Ha sido vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Es economista jefe en el Grupo de Investigación del Desarrollo del Banco Mundial (Estados Unidos) y lidera el World Bank Research Hub en Kuala Lumpur (Malasia). Ha trabajado con ministerios, bancos centrales, diversas ONG y universidades en el desarrollo de proyectos sobre reforma política y capacidad local. Ha participado en misiones del Banco Mundial en países como Túnez, Brasil, Egipto, Pakistán y la India en áreas que van desde la macroeconomía a los asuntos político-sociales. Ha dirigido el *World Development Report 2014*, publicado por el Banco Mundial.

Es catedrático de Análisis Económico en la Universidad de Valencia (España) y director de Investigación del Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Ivie). Ha desarrollado y dirigido numerosos estudios sobre crecimiento económico e integración internacional, competitividad, economía regional, de la educación y financiera. Es autor de más de sesenta libros y ciento ochenta artículos en revistas científicas. *Eisenhower fellow* desde 1998, en 2010 recibió el Premio Societat Catalana d'Economia y ha recibido la Alta Distinción Francesc de Vinatea de las Cortes Valencianas.

**Chair of the jury**

Professor and Director of the Department for Economic and Technological Change at the Center for Development Research (ZEF) of the University of Bonn (Germany). His research addresses development and agricultural economics topics: markets and trade, poverty, health and nutrition, agriculture, and science and technology. He is a member of the Academy of Science of North-Rhine Westphalia, the German Academy of Science and Engineering (acatech) and the Pontifical Academy of Sciences of the Vatican, and a Fellow of the American Association for the Advancement of Science (AAAS).

**Secretary of the jury**

Professor of Economics and Chairman of the Department of Economics and Business at Pompeu Fabra University (Barcelona, Spain), he is also a Research Professor at the Valencian Institute of Economic Research (Ivie). His areas of research are development economics, conflicts and ethnicity, the real estate market and the economics of education. He has authored over 100 published papers and is a Research Professor at Barcelona Graduate School of Economics and a research fellow at the Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA-Academia).

Professor in the Department of Economics at the University of Mannheim (Germany) and the Department of Economics and Business at Pompeu Fabra University (Barcelona, Spain). He is also an ICREA Research Professor and a Fellow of CESifo. His research interests lie in macroeconomics, international trade, productivity, violent conflicts and democratic changes, intersectoral resource allocation, human capital and growth. He is a research fellow of the Centre for Economic Policy Research (CEPR) and former head of its Macroeconomics and Growth program.

Research Professor and former director of the Center for Biological Research of the Spanish National Research Council (CSIC), where he heads the Molecular Parasitology Laboratory (Madrid, Spain). He is currently working on the development of recombinant vaccines against leishmaniasis, and gene activation during the protective response to the parasite. A member of the New York Academy of Sciences, the Spanish Society of Biochemistry and Molecular Biology and the Spanish Society of Tropical Medicine and International Health, he is also a former vice president of the Spanish National Research Council.

Lead Economist in the Development Research Group of the World Bank (United States), he currently heads the World Bank Research Hub in Kuala Lumpur, Malaysia. He has worked with ministries, central banks, NGOs and universities to implement projects for policy reform and local capacity improvement, and participated in the Bank's missions to Tunisia, Brazil, Egypt, Indonesia, Pakistan and India in areas ranging from macroeconomics to socio-political issues. He directed the *World Development Report 2014*, published by the World Bank

Professor of Economic Analysis at the University of Valencia (Spain) and Research Director of the Valencian Institute of Economic Research (Ivie). He has conducted and led numerous studies on economic growth and international integration, competitiveness, regional economics, the economics of education, and financial economics, as well as authoring over sixty books and 180 papers in scientific journals. An *Eisenhower fellow* since 1998, in 2010 he received the Premi Societat Catalana d'Economia, and recently received the Francesc de Vinatea High Distinction bestowed by the Valencian Parliament.



## **Jurado**

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento  
**Cooperación al Desarrollo**

### **Mención del acta**

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Cooperación al Desarrollo ha sido concedido en su novena edición a Pedro L. Alonso y Peter J. Myler por haber mejorado la comprensión de la detección y prevención de varias enfermedades infecciosas que afectan particularmente a las poblaciones vulnerables de los países en desarrollo.

La evaluación experimental realizada por Alonso y sus colegas en los años ochenta sobre la eficacia de las mosquiteras tratadas con insecticida contra los mosquitos que propagan el paludismo, y sus exitosas pruebas de vacunas contra la malaria en la década del 2000, se han convertido en dos pilares del control de la malaria. En 2015 en torno a 400.000 personas murieron de malaria y millones sufrieron la infección.

Myler y sus colegas describieron, a partir de 2005, el genoma de los agentes de otras dos enfermedades que afectan a millones de personas en los países en desarrollo: la enfermedad de Chagas, transmitida por los triatominos, y la leishmaniasis, transmitida por la mosca de la arena. Se estima que 40.000 personas fallecieron a causa de estas enfermedades en 2015. Estos avances de investigación en genómica estructural abren una ruta para desarrollar nuevos fármacos con que combatir estas y, potencialmente, otras enfermedades.

Las innovaciones en las que se basan las aproximaciones desarrolladas por los dos galardonados están listas para convertirse en partes críticas de una estrategia más amplia con el fin de reducir la carga de enfermedades infecciosas en los países en desarrollo.

## **Jury**

BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award  
**Development Cooperation**

### **Excerpt from award citation**

The BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Development Cooperation goes, in this ninth edition, to Pedro L. Alonso and Peter J. Myler for having advanced our understanding regarding the detection and prevention of infectious diseases that particularly affect vulnerable populations in developing countries.

Alonso and colleagues' experimental evaluation of insecticide treated bed nets to fend off infectious mosquitos in the 1980s, and successful testing of vaccines against malaria infection in the 2000s have now emerged as two pillars of malaria control. In 2015 about 400,000 people died from malaria, and millions suffered from the infection.

Myler and colleagues in 2005 and thereafter described the genomes of the agents of two other infectious diseases affecting millions of people in developing countries: Chagas disease, transmitted by "kissing bugs," and leishmaniasis, transmitted by sand flies. An estimated 40,000 people died from these diseases in 2015. These research advances in structural genomics open a route to develop new drugs to fight these and potentially other infectious diseases.

The innovations behind the approaches pioneered by the two award winners are poised to become critical parts of a more successful strategy to reduce infectious disease burdens in developing countries.

## Comisiones técnicas de evaluación

### Coordinadora

#### Ana M.<sup>a</sup> Guerrero Bustos

Vicepresidenta adjunta de Áreas Científica y Técnica  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

## Technical evaluation committees

### Coordinator

#### Ana M.<sup>a</sup> Guerrero Bustos

Deputy Vice President for Scientific and Technical Areas  
Spanish National Research Council (CSIC)

### Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)

#### Miguel Ángel Bañares González

Profesor de investigación del Instituto de Catálisis y Petroquímica (CSIC)

Research Professor at the Institute of Catalysis and Petrochemistry (CSIC)

#### Alberto Casas González

Profesor de investigación del Instituto de Física Teórica (CSIC)

Research Professor at the Institute for Theoretical Physics (CSIC)

#### Óscar García Prada

Profesor de investigación del Instituto de Ciencias Matemáticas (CSIC)

Research Professor at the Institute of Mathematical Sciences (CSIC)

#### Agustín Rodríguez González-Elipe

Profesor de investigación del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (CSIC)

Research Professor at the Institute of Materials Science of Seville (CSIC)

#### Francisco Javier Rojo Marcos

Coordinador del Área de Ciencia y Tecnologías Químicas e investigador científico del Instituto de Investigaciones Químicas (CSIC)

Coordinator of the Chemical Science and Technology Area and Research Scientist at the Institute for Chemical Research (CSIC)

#### Alfonso Saiz López

Profesor de investigación del Instituto de Química Física Rocasolano (CSIC)

Research Scientist at the Institute of Physical Chemistry "Rocasolano" (CSIC)

### Biomedicina Biomedicine

#### Dolores González Pacanowska

Coordinadora del Área de Biología y Biomedicina, y profesora de investigación del Instituto de Parasitología y Biomedicina López Neyra (CSIC)

Coordinator of the Biology and Biomedicine Area and Research Professor at the Institute of Parasitology and Biomedicine "López Neyra" (CSIC)

#### Santiago Lamas Peláez

Profesor de investigación del Centro de Biología Molecular Severo Ochoa (CSIC)

Research Professor at the Center for Molecular Biology "Severo Ochoa" (CSIC)

#### Juan Lerma Gómez

Profesor de investigación del Instituto de Neurociencias (CSIC)

Research Professor at the Institute of Neurosciences (CSIC)

#### José Luis Martínez Menéndez

Profesor de investigación del Centro Nacional de Biotecnología (CSIC)

Research Professor at the National Center for Biotechnology (CSIC)

#### María Ángeles Ros Lasierra

Profesora de investigación del Instituto de Biomedicina y Biotecnología de Cantabria (CSIC)

Research Professor at the Institute of Biomedicine and Biotechnology of Cantabria (CSIC)

### Ecología y Biología de la Conservación Ecology and Conservation Biology

#### Xavier Querol Carceller

Coordinador del Área de Recursos Naturales y Profesor de investigación del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC)

Coordinator of the Natural Resources Area and Research Professor at the Institute of Environmental Assessment and Water Research (CSIC)

#### Eulalia Moreno Mañas

Profesora de investigación de la Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC)

Research Professor at the Arid Zones Experimental Station (CSIC)

#### Daniel Oró de Rivas

Profesor de investigación del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (CSIC)

Research Professor at the Mediterranean Institute for Advanced Studies (CSIC)

### Tecnologías de la Información y la Comunicación Information and Communication Technologies

#### Gonzalo Álvarez Marañón

Científico titular del Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (CSIC)

Tenured Researcher at the Institute of Physical and Information Technologies (CSIC)

#### Carmen García García

Coordinadora del Área de Ciencia y Tecnologías Físicas y profesora de investigación del Instituto de Física Corpuscular (CSIC)

Coordinator of the Physical Science and Technologies Area and Research Professor at the Institute of Corpuscular Physics (CSIC)

#### Jesús Marco de Lucas

Profesor de investigación del Instituto de Física de Cantabria (CSIC)

Research Professor at the Institute of Physics of Cantabria (CSIC)

#### Pedro Meseguer González

Investigador científico del Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial (CSIC)

Research Scientist at the Artificial Intelligence Research Institute (CSIC)

#### Federico Thomas Arroyo

Profesor de investigación del Instituto de Robótica e Informática Industrial (CSIC)

Research Professor at the Institute of Robotics and Industrial Computing (CSIC)

## **Economía, Finanzas y Gestión de Empresas**

### **Economics, Finance and Management**

#### **Esther Hauk**

Investigadora científica del Instituto de Análisis Económico (CSIC)  
Research Scientist at the Institute for Economic Analysis (CSIC)

#### **Laura Beatriz Mayoral Santamaría**

Investigadora científica del Instituto de Análisis Económico (CSIC)  
Research Scientist at the Institute for Economic Analysis (CSIC)

#### **José Luis Oviedo Pro**

Científico titular del Instituto de Políticas y Bienes Públicos (CSIC)  
Tenured Researcher at the Institute of Public Goods and Policies (CSIC)

#### **Francisco Javier Sanz Cañada**

Científico titular del Instituto de Economía, Geografía y Demografía (CSIC)  
Tenured Researcher at the Institute of Economics, Geography and Demography (CSIC)

## **Música Contemporánea Contemporary Music**

#### **José Antonio Berenguer Sánchez**

Coordinador del Área de Humanidades y Ciencias Sociales e investigador científico del Instituto de Lenguas de Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo (CSIC)

Coordinator of the Humanities and Social Sciences Area and Research Scientist at the Institute of Languages and Cultures of the Mediterranean and the Middle East (CSIC)

#### **Antonio Ezquerro Esteban**

Investigador científico de la Institución Milá y Fontanals (CSIC)  
Research Scientist at the Milá i Fontanals Institution (CSIC)

#### **María Gembero Ustároz**

Científica titular de la Institución Milá y Fontanals (CSIC)  
Tenured Researcher at the Milá i Fontanals Institution (CSIC)

#### **Tess Knighton**

Profesora de investigación ICREA de la Institución Milá y Fontanals (CSIC)  
ICREA Research Professor at the Milá i Fontanals Institution (CSIC)

## **Cambio Climático Climate Change**

#### **Gerardo Félix Benito Ferrández**

Profesor de Investigación del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)  
Research Professor at the Spanish Museum of Natural Sciences (CSIC)

#### **Antonio Delgado Huertas**

Profesor de Investigación del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC)  
Research Professor at the Andalusian Earth Sciences Institute (CSIC)

#### **Daniel Oró de Rivas**

Profesor de investigación del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (CSIC)  
Research Professor at the Mediterranean Institute for Advanced Studies (CSIC)

#### **José Luis Pelegrí Llopart**

Profesor de investigación del Instituto de Ciencias del Mar (CSIC)  
Research Professor at the Institute of Marine Science (CSIC)

#### **Xavier Querol Carceller**

Coordinador del Área de Recursos Naturales y profesor de investigación del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC)  
Coordinator of the Natural Resources Area and Research Professor at the Institute of Environmental Assessment and Water Research (CSIC)

## **Cooperación al Desarrollo Development Cooperation**

#### **José Antonio Berenguer Sánchez**

Coordinador del Área de Humanidades y Ciencias Sociales e investigador científico del Instituto de Lenguas de Culturas del Mediterráneo y Oriente Próximo (CSIC)

Coordinator of the Humanities and Social Sciences Area and Research Scientist at the Institute of Languages and Cultures of the Mediterranean and the Middle East (CSIC)

#### **Ramón González García**

Profesor de investigación del Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (CSIC)  
Research Professor at the Institute of Grapevine and Wine Sciences (CSIC)

#### **Enrique Playán Jubillar**

Coordinador del Área de Ciencias Agrarias y profesor de investigación de la Estación Experimental Aula Dei (CSIC)  
Coordinator of the Agricultural Sciences Area and Research Professor at Aula Dei Experimental Station (CSIC)

#### **Francisco Tomás Barberán**

Coordinador del Área de Ciencia y Tecnología de Alimentos y profesor de Investigación del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC)  
Coordinator of the Food Sciences and Technology Area and Research Professor at the Center of Soil Science and Applied Biology of the Segura Basin (CSIC)





## Símbolo artístico *Fronteras del Conocimiento*

Artista: Blanca Muñoz

Blanca Muñoz se licenció en Bellas Artes en la Universidad Complutense de Madrid. Fue becada por el Gobierno de Italia en la Calcografía Nazionale (1989), por la Real Academia de España en Roma (1990) y por la Dirección de Relaciones Exteriores de México (en México DF, 1992). Ha sido galardonada con numerosos premios de grabado y de escultura. En 1999 obtuvo el Premio Nacional de Grabado.

**Esculturas públicas:** *Géminis*, Torre Cepsa de Norman Foster, Madrid (2009); *Panta rei*, Málaga (2008); *Eclíptica*, Palacio de Congresos de Badajoz (2006); *Perseidas II*, Parque de la Curva de Elorrieta, Bilbao (2004); *Leónidas*, Estación de Príncipe Pío, Madrid (2004).

**Últimas exposiciones individuales:** *Recapitulación*, Galería Marlborough, Barcelona (2016); *Tornasol*, Galería Marlborough, Madrid (2015); *De l'acier à l'or*, Galerie MiniMasterpiece, París (2013); *Circunnavegación 1990-2012*, Sala Alcalá 31, Madrid (2013); *Superficial*, Galería Marlborough, Madrid (2012); *Cueva de estrellas*, Sala La Gallera, Valencia (2010); *Joyas de Blanca Muñoz*, Joyería Grassy, Madrid (2010); *Blue Dance*, Galería Marlborough, Chelsea, Nueva York (2009).

Su obra se ha expuesto también en la Biblioteca Nacional de España, el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía y el Museo Nacional del Prado.

*En el símbolo artístico de los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento —señala la artista— he tratado de sintetizar las ocho categorías seleccionadas y, al mismo tiempo, interrelacionar todas las disciplinas en un continuo desafío hacia nuevos avances del conocimiento. He elegido la espiral como símbolo de la imagen de la vida en numerosas culturas porque es la mejor solución para crecer en poco espacio y la mejor forma para representar la continuidad. La espiral se expande infinitamente desde el punto de origen. Pensando en todo ello he marcado tres espirales. Cada una está segmentada originando siete puntos, además de un octavo que es común y desde el cual parten todas ellas. Es decir, he tratado de acompañar las siete disciplinas científicas al son de la octava: la música contemporánea.*

## *Frontiers of Knowledge* artwork

Artist: Blanca Muñoz

Blanca Muñoz obtained a B.A. in Fine Arts from the Universidad Complutense de Madrid. She has held scholarships at Calcografía Nazionale (1989), awarded by the Italian Government, at the Spanish Royal Academy in Rome (1990), and in Mexico City (1992), awarded by the Mexican Department of Foreign Affairs. Her many distinctions as a sculptor and printmaker include the 1999 National Print Prize.

**Public sculptures:** *Géminis*, Torre Cepsa, architect Norman Foster, Madrid (2009); *Panta rei*, Malaga (2008); *Eclíptica*, Badajoz Exhibition Center (2006); *Perseidas II*, Parque de la Curva de Elorrieta, Bilbao (2004); *Leónidas*, Príncipe Pío Station, Madrid (2004).

**Latest solo exhibitions:** *Recapitulación*, Galería Marlborough, Barcelona (2016); *Tornasol*, Galería Marlborough, Madrid (2015); *De l'acier à l'or*, Galerie MiniMasterpiece, Paris (2013); *Circunnavegación 1990-2012*, Sala Alcalá 31, Madrid (2013); *Superficial*, Galería Marlborough, Madrid (2012); *Cueva de estrellas*, Sala La Gallera, Valencia (2010); *Joyas de Blanca Muñoz*, Joyería Grassy, Madrid (2010); *Blue Dance*, Marlborough Chelsea, New York (2009).

Her work has also been shown in the National Library of Spain, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía and the Prado Museum.

*My idea for the BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Awards artwork — says the artist — was to synthesize the eight categories addressed and, at the same time, to convey the ambition of all disciplines advancing together towards new terrains of knowledge. I chose the spiral for its symbolism in numerous cultures as an image of life, and because it is the optimal solution for growth in a limited space as well as the best way to represent continuity. The spiral expands endlessly outward from its point of origin. With this in mind, I traced out three spirals, each of them segmented into seven points, plus an eighth point which marks their common origin. This, I think, brings the seven scientific disciplines harmoniously into play, to the rhythm of the eighth: contemporary music.*









## Concierto

## Concert

Orquesta Sinfónica de Euskadi

Robert Treviño, director

Orquesta Sinfónica de Euskadi

Robert Treviño, conductor

85

Primera parte

Part one

**Richard Wagner** (1813-1883)

*Los maestros cantores de Núremberg*

• Preludio al acto I

**Richard Wagner** (1813-1883)

*Die Meistersinger von Nürnberg*

• Prelude to Act I

**Sofia Gubaidulina** (1931)

*The Light of the End*

**Sofia Gubaidulina** (1931)

*The Light of the End*

Segunda parte

Part two

**Richard Strauss** (1864-1949)

*Una vida de héroe, op. 40*

**Richard Strauss** (1864-1949)

*Ein Heldenleben, op. 40*

**14 de junio de 2017**  
**19:30 horas**  
**Teatro Real**  
**Madrid**

**June 14, 2017**  
**19:30**  
**Teatro Real**  
**Madrid**



## Ceremonia de entrega

## Presentation ceremony

**Discurso del Presidente de la Fundación BBVA**

**Speech by the President of the BBVA Foundation**

**Discurso del Presidente del CSIC**

**Speech by the President of CSIC**

**Acto de entrega de los Premios**

**Awards presentation**

**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas)**

David Cox  
Bradley Efron

**Biomedicina**

Emmanuelle Charpentier  
Jennifer Doudna  
Francisco J. Martínez Mojica

**Ecología y Biología de la Conservación**

Gene E. Likens  
Marten Scheffer

**Tecnologías de la Información y la Comunicación**

Geoffrey Hinton

**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas**

Daron Acemoglu

**Música Contemporánea**

Sofia Gubaidulina

**Cambio Climático**

James E. Hansen  
Syukuro Manabe

**Cooperación al Desarrollo**

Pedro L. Alonso  
Peter J. Myler

**Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

David Cox  
Bradley Efron

**Biomedicine**

Emmanuelle Charpentier  
Jennifer Doudna  
Francisco J. Martínez Mojica

**Ecology and Conservation Biology**

Gene E. Likens  
Marten Scheffer

**Information and Communication Technologies**

Geoffrey Hinton

**Economics, Finance and Management**

Daron Acemoglu

**Contemporary Music**

Sofia Gubaidulina

**Climate Change**

James E. Hansen  
Syukuro Manabe

**Development Cooperation**

Pedro L. Alonso  
Peter J. Myler

**Clausura**

**Closing remarks**

**Cóctel**

**Cocktail**

**15 de junio de 2017**

**19 horas**

**Fundación BBVA**

**Palacio del Marqués de Salamanca**

**Madrid**

**June 15, 2017**

**19:00**

**BBVA Foundation**

**Marqués de Salamanca Palace**

**Madrid**





**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Stephen Hawking** · Universidad de Cambridge (Reino Unido) / University of Cambridge (United Kingdom)

**Viatcheslav Mukhanov** · Universidad Ludwig Maximilian de Múnich (Alemania)

Ludwig Maximilian University of Munich (Germany)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Edward S. Boyden III** · Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos) / Massachusetts Institute of Technology (United States)

**Karl Deisseroth** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)

**Gero Miesenböck** · Universidad de Oxford (Reino Unido) / University of Oxford (United Kingdom)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Ilkka Hanski** · Universidad de Helsinki (Finlandia) / University of Helsinki (Finland)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Stephen A. Cook** · Universidad de Toronto (Canadá) / University of Toronto (Canada)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Robert B. Wilson** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Georges Aperghis** · Compositor (Grecia) / Composer (Greece)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Veerabhadran Ramanathan** · Universidad de California en San Diego (Estados Unidos)

University of California, San Diego (United States)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Martin Ravallion** · Universidad de Georgetown (Estados Unidos) / Georgetown University (United States)



**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Stephen L. Buchwald** · Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos)  
Massachusetts Institute of Technology (United States)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Tony Hunter** · Salk Institute for Biological Studies (Estados Unidos / United States)  
**Joseph Schlessinger** · Universidad de Yale (Estados Unidos) / Yale University (United States)  
**Charles L. Sawyers** · Memorial Sloan Kettering Cancer Center (Estados Unidos / United States)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**David Tilman** · Universidad de Minnesota (Estados Unidos) / University of Minnesota (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Leonard Kleinrock** · Universidad de California en Los Ángeles (Estados Unidos)  
University of California, Los Angeles (United States)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Richard Blundell** · University College de Londres / University College London (United Kingdom)  
**David Card** · Universidad de California en Berkeley (Estados Unidos) / University of California, Berkeley (United States)



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**György Kurtág** · Compositor (Hungría) / Composer (Hungary)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Richard B. Alley** · Universidad Estatal de Pensilvania (Estados Unidos) / The Pennsylvania State University (United States)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Helen Keller International** · Estados Unidos / United States



**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Maximilian Haider** · Instituto Tecnológico de Karlsruhe (Alemania) / Karlsruhe Institute of Technology (Germany)

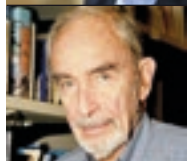
**Harald Rose** · Universidad de Ulm (Alemania) / Ulm University (Germany)

**Knut Urban** · Centro de Investigación de Jülich (Alemania) / Juelich Research Center (Germany)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Adrian Bird** · Universidad de Edimburgo (Reino Unido) / University of Edinburgh (United Kingdom)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Paul R. Ehrlich** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Marvin L. Minsky** · Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos)  
Massachusetts Institute of Technology (United States)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Elhanan Helpman** · Universidad de Harvard (Estados Unidos) e Instituto Canadiense de Investigación Avanzada (Canadá)  
Harvard University (United States) and Canadian Institute for Advanced Research (Canada)



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Steve Reich** · Compositor (Estados Unidos) / Composer (United States)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Christopher B. Field** · Carnegie Institution for Science y Universidad de Stanford (Estados Unidos)  
Carnegie Institution for Science and Stanford University (United States)



**Pratham**

**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Pratham** · India





**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Ingrid Daubechies** · Universidad de Duke (Estados Unidos) / Duke University (United States)

**David B. Mumford** · Universidad de Brown (Estados Unidos) / Brown University (United States)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Douglas L. Coleman** · The Jackson Laboratory (Estados Unidos / United States)

**Jeffrey M. Friedman** · Howard Hughes Medical Institute (Estados Unidos / United States)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Jane Lubchenco** · Universidad Estatal de Oregón (Estados Unidos) / Oregon State University (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Lotfi A. Zadeh** · Universidad de California en Berkeley (Estados Unidos) / University of California, Berkeley (United States)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Paul R. Milgrom** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Pierre Boulez** · Compositor y director (Francia) / Composer and conductor (France)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Susan Solomon** · Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos)  
Massachusetts Institute of Technology (United States)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**DNDi (Drugs for Neglected Diseases Initiative)** · Suiza / Switzerland



**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Michel G.E. Mayor** · Universidad de Ginebra (Suiza) / University of Geneva (Switzerland)  
**Didier Queloz**



**Biomedicina / Biomedicine**

**Alexander Varshavsky** · Instituto de Tecnología de California (Estados Unidos)  
California Institute of Technology (United States)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Daniel H. Janzen** · Universidad de Pensilvania (Estados Unidos) / University of Pennsylvania (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Carver A. Mead** · Instituto de Tecnología de California (Estados Unidos)  
California Institute of Technology (United States)



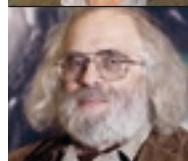
**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Angus Deaton** · Universidad de Princeton (Estados Unidos) / Princeton University (United States)  
Premio en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel 2015 / Nobel Memorial Prize in Economic Sciences 2015



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Salvatore Sciarrino** · Compositor (Italia) / Composer (Italy)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Isaac Meyer Held** · Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica (Estados Unidos)  
National Oceanic and Atmospheric Administration (United States)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Ciro de Quadros** · Sabin Vaccine Institute (Estados Unidos / United States)



**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Gabor A. Somorjai** · Universidad de California en Berkeley (Estados Unidos)  
University of California, Berkeley (United States)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Shinya Yamanaka** · Universidad de Kioto (Japón) y Universidad de California en San Francisco (Estados Unidos)  
Kyoto University (Japan) and University of California, San Francisco (United States)  
Premio Nobel en Fisiología y Medicina 2012 / Nobel Prize in Physiology or Medicine 2012



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Edward O. Wilson** · Universidad de Harvard (Estados Unidos) / Harvard University (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Donald E. Knuth** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Lars Peter Hansen** · Universidad de Chicago (Estados Unidos) / University of Chicago (United States)  
Premio en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel 2013  
Nobel Memorial Prize in Economic Sciences 2015



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Helmut Lachenmann** · Compositor (Alemania) / Composer (Germany)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Nicholas Stern** · The London School of Economics and Political Science (Reino Unido / United Kingdom)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**International Rice Research Institute (IRRI)** · Filipinas / The Philippines

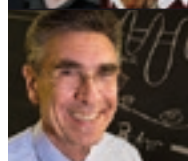




**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Richard N. Zare** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)

**Michael E. Fisher** · Universidad de Maryland (Estados Unidos) / University of Maryland (United States)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Robert J. Lefkowitz** · Universidad de Duke (Estados Unidos) · Premio Nobel de Química 2012

Duke University (United States) · Nobel Prize in Chemistry 2012



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Peter B. Reich** · Universidad de Minnesota (Estados Unidos) / University of Minnesota (United States)



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Thomas Kailath** · Universidad de Stanford (Estados Unidos) / Stanford University (United States)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Andreu Mas-Colell** · Universidad Pompeu Fabra (España) / Pompeu Fabra University (Spain)

**Hugo Sonnenschein** · Universidad de Chicago (Estados Unidos) / University of Chicago (United States)



**Música Contemporánea / Contemporary Music**

**Cristóbal Halffter** · Compositor y director (España) / Composer and conductor (Spain)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Klaus Hasselmann** · Instituto Max Planck de Meteorología (Alemania)

Max Planck Institute for Meteorology (Germany)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Development Research Institute (DRI)** · Universidad de Nueva York (Estados Unidos)

New York University (United States)



**Ciencias Básicas (Física, Química, Matemáticas) / Basic Sciences (Physics, Chemistry, Mathematics)**

**Ignacio Cirac** · Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Alemania) / Max Planck Institute of Quantum Optics (Germany)  
**Peter Zoller** · Instituto de Óptica Cuántica e Información Cuántica (Austria)  
Institute for Quantum Optics and Quantum Information (Austria)



**Biomedicina / Biomedicine**

**Joan Massagué** · Memorial Sloan Kettering Cancer Center (Estados Unidos / United States)



**Ecología y Biología de la Conservación / Ecology and Conservation Biology**

**Thomas E. Lovejoy** · Instituto Smithsonian (Estados Unidos) / Smithsonian Institution (United States)  
**William F. Laurance**



**Tecnologías de la Información y la Comunicación / Information and Communication Technologies**

**Jacob Ziv** · Instituto Technion (Israel) / Technion Institute (Israel)



**Economía, Finanzas y Gestión de Empresas / Economics, Finance and Management**

**Jean Tirole** · Fundación Jean-Jacques Laffont (Francia) / Jean-Jacques Laffont Foundation (France)  
Premio en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel 2014  
Nobel Memorial Prize in Economic Sciences 2014



**Artes (Música, Pintura, Escultura, Arquitectura) / Arts (Music, Painting, Sculpture, Architecture)**

**Steven Holl** · Universidad de Columbia (Estados Unidos) / Columbia University (United States)



**Cambio Climático / Climate Change**

**Wallace S. Broecker** · Universidad de Columbia (Estados Unidos) / Columbia University (United States)



**Cooperación al Desarrollo / Development Cooperation**

**Abdul Latif Jameel Poverty Action Lab (J-PAL)** · Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos)  
Massachusetts Institute of Technology (United States)

## Créditos Credits

### Fundación BBVA

Plaza de San Nicolás, 4 · 48005 Bilbao  
Paseo de Recoletos, 10 · 28001 Madrid  
España / Spain  
www.fbbva.es

### Textos / Texts

#### Mónica González Salomone:

Ciencias Básicas; Biomedicina; Ecología y Biología de la Conservación;  
Tecnologías de la Información y la Comunicación; Cambio Climático;  
Cooperación al Desarrollo; *El futuro se decide hoy*.  
Basic Sciences; Biomedicine; Ecology and Conservation Biology;  
Information and Communication Technologies; Climate Change;  
Development Cooperation; *Today we decide the future*.

Álvaro Guibert: Música Contemporánea / Contemporary Music

Carlos Gil: Jurados / Juries

### Traducción / Translations

Karen Welch

**Diseño gráfico y producción / Graphic design and production**  
nu comunicación

### Impresión / Printed by

Gráficas Ingugom

Depósito Legal / Legal deposit: BI-724-2017

Impreso en España / Printed in Spain

Impreso en papel ecológico / Printed on environmentally responsible paper



## Créditos fotográficos / Photo credits

Todas las fotos **Fundación BBVA** excepto / All photos **Fundación BBVA** except

- 7 CSIC
- 8 (*Emmanuelle Charpentier*) Hallbauer+Fioretti
- 13 Cal Lomax/Stardust Network/Space for Art/ESA
- 22-23 U.S. Department of Energy Genomic Science Program <http://genomicscience.energy.gov>
- 25 *Self Reflected in White Light*. 22K reflective microetching. Greg Dunn/Brian Edwards
- 26 (*Emmanuelle Charpentier*) Hallbauer+Fioretti
- 29 (*Jennifer Doudna*) UC Regents
- 33 ESA/Copernicus - CC BY-SA 3.0 IGO
- 37 (*Gene E. Likens*) Cary Institute Photo Archive, (*Marten Scheffer*) Bart Koelmans
- 41 ESA/Agustín Fernández-León
- 45 (*arriba/top*) Johnny Guatto, University of Toronto
- 49 Aaron Koblin/Scott Hessels/Gabriel Dunne
- 53 (*arriba/top*) Peter Tenzer
- 57 Musikverlag Hans Sikorski, Hamburg
- 61 (*arriba/top*) Olaf Malzahn  
(*abajo/bottom*) F. Hoffmann-La Roche Ltd
- 65 NASA/METI/AIST/Japan Space Systems - U.S./Japan ASTER Science Team
- 73 Getty Images
- 82 (*arriba/top*) Blanca Muñoz
- 84 Teatro Real

Fundación **BBVA**

Con la colaboración del  
*With the collaboration of*

