



REVISTA DE CIENCIAS
Y HUMANIDADES

FUNDACIÓN
RAMÓN ARECES

DIÁLOGOS

Thierry Jutteau

CONFERENCIAS

Antony Beevor, Carl Wieman, Michael Grubb,
Jane Humphries, María Jesús Viguera Molins

#20

IMPULSANDO
EL CONOCIMIENTO





Enter

FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Compartimos el Conocimiento

Visítanos en fundacionareces.es o en fundacionareces.tv

y síguenos en  [flickr](#)  [slideshare](#)  [YouTube](#) 



DICIEMBRE '18

Edita

Fundación Ramón Areces

Director

Raimundo Pérez-Hernández y Torra

Consejo Asesor

Federico Mayor Zaragoza, Jaime Terceiro Lomba, Juan Velarde Fuertes, Avelino Corma Cánds, Alfonso Novales Cínca

Director

Manuel Azcona

Publicaciones

Esperanza Carpizo Bergareche

Diseño y maquetación

Omnivoros. Brand Design & Business Communication

Administración y redacción

Calle Vitruvio, 5. 28006 Madrid.
Teléfono: 91 515 89 80.
Fax: 91 564 52 43

Web

www.fundacionareces.es

Web TV

www.fundacionareces.tv

Ilustraciones

Roberto Díez (Portada)

Fotografía

Alejandro Amador, Antonio Marcos

Transcripción al inglés

Cristina Ramos

Impresión

Queda prohibida la reproducción total o parcial de las informaciones de esta publicación, cualquiera que sea el medio de reproducción a utilizar, sin autorización previa o expresa de Fundación Ramón Areces. La Revista no se hace, necesariamente, responsable de las opiniones de sus colaboradores.

Depósito Legal: M-51664-2009

© 2018 Fundación Ramón Areces

Síguenos en

flickr slideshare

YouTube f

5 DIÁLOGOS

Thierry Juttau, explorador y geólogo

"Los robots sustituirán al explorador en el mar y en el espacio"

13 CONFERENCIAS

La Segunda Guerra Mundial y sus consecuencias

Antony Beevor, *The Royal Society of Literature*

Adoptando un punto de vista científico en la enseñanza de la ciencia

Carl Wieman, *Premio Nobel de Física 2001*

Cambio climático y energía: teoría y política europea más allá del "reparto de la carga"

Michael Grubb, *University College London (UCL)*

Desde bastidores al centro de la escena: las mujeres en la historia económica

Jane Humphries, *Universidad de Oxford*

La arabización de los mozárabes

María Jesús Viguera Molins, *Real Academia de la Historia*

76 FRAGMENTOS

Desigualdad de la riqueza en España

por Clara Martínez-Toledano (*Paris School of Economics y World Inequality Lab*)

1918-2018, 100 años de "La Gripe Española", lecciones para el futuro

por Estanislao Nistal (*Universidad CEU San Pablo*)

Big Data al servicio de la exploración de los océanos

por Carlos Bueno

Acerca de la superconductividad y de sus recientes progresos

por Miguel Ángel Alario (*Universidad Complutense de Madrid*)

Enfermedades con acortamiento telomérico: disqueratosis congénita y fibrosis pulmonar

por Rosario Perona, Cristina Manguán García, Elena G. Árias-Salgado y Leandro Sastre. Instituto de Investigaciones Biomédicas "Alberto Sols", CSIC/UAM. Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Raras (CIBERER)-Madrid

Matemáticas e Imaginación

por José Antonio Martín (Médico y MBA por la Northwestern University)

146 DESDE LA DISTANCIA

La opinión de los científicos españoles en el extranjero

Nace RAICEX

Primer encuentro de RECEMEX

148 VITRUVIO, 5

Ayudas a diez nuevos proyectos de investigación en Ciencias Sociales

Diez años de la Cátedra Fundación Ramón Areces de Distribución Comercial



THIERRY JUTEAU

*Explorador y geólogo,
descubridor de los volcanes submarinos*

"LOS ROBOTS SUSTITUIRÁN AL EXPLORADOR EN EL MAR Y EN EL ESPACIO"

El geólogo y explorador francés, Thierry Juteau, dice recordar cada minuto de la expedición en la que descubrió los volcanes submarinos. Este hito de la investigación tuvo lugar el 21 de abril de 1979, a 2.500 metros de profundidad, a bordo del sumergible norteamericano "Alvin". El hallazgo de aquella actividad hidrotermal en la dorsal del Pacífico estuvo acompañado del descubrimiento de nuevas formas de vida inauditas que surgían junto a esas fumarolas negras o "black smokers" ricas en minerales, en total oscuridad. "Si el sol dejara de lucir, estas formas de vida permanecerían allí", explica.

Juteau fue el encargado de inaugurar el ciclo: "La exploración de los océanos", organizado por la Fundación Ramón Areces y la Sociedad Geográfica Española el pasado mes de octubre. "Los gobiernos de muchos países que gozan de una fachada marítima importante no se dan cuenta de las riquezas que tienen entre sus manos, simplemente explorando las 200 millas de sus aguas territoriales", nos explica.

A sus 78 años, este profesor emérito de la Universidad de Brest se mantiene activo impartiendo conferencias y participando en proyectos de investigación para conocer mejor un " magnífi-

co complejo de volcanes submarinos fósiles del Cretácico superior que afloran entre Éibar y Bilbao". Una vez jubilado y, entre viaje y viaje, ha fijado su residencia en San Sebastián, la ciudad de su mujer. Allí sigue disfrutando también de su pasión por la guitarra clásica, que empezó a tocar a los 14 años, interpretando composiciones de Tárrega, Albéniz, Granados, Baden Powell o Villa-Lobos. También en esto sigue aprendiendo, pues no hay miércoles que se pierda su clase de guitarra. Incondicional lector, prefiere las obras de ciencia ficción y las biografías de grandes exploradores, entre los que ya está su nombre. Con su cercanía y en un español perfecto, rememora en esta entrevista sus principales aventuras submarinas a bordo de batiscafos y también sus periplos por las cimas más altas del mundo. Exclamación tras exclamación.

Profesor, en su conferencia explicó la evolución de la exploración de los océanos hasta nuestros días. ¿En qué momento nos encontramos?

Si echamos una ojeada hacia atrás, podemos constatar los inmensos progresos alcanzados en la exploración y el conocimiento de los fondos oceánicos en el último medio siglo. Estos avances dependen estrictamente de los progresos tecnológicos. Así, en 1970 aparecieron nuevas herramientas, como los pequeños sumergibles de gran profundidad y los buques perforadores, que permitieron una exploración metódica de la geología de los fondos oceánicos.

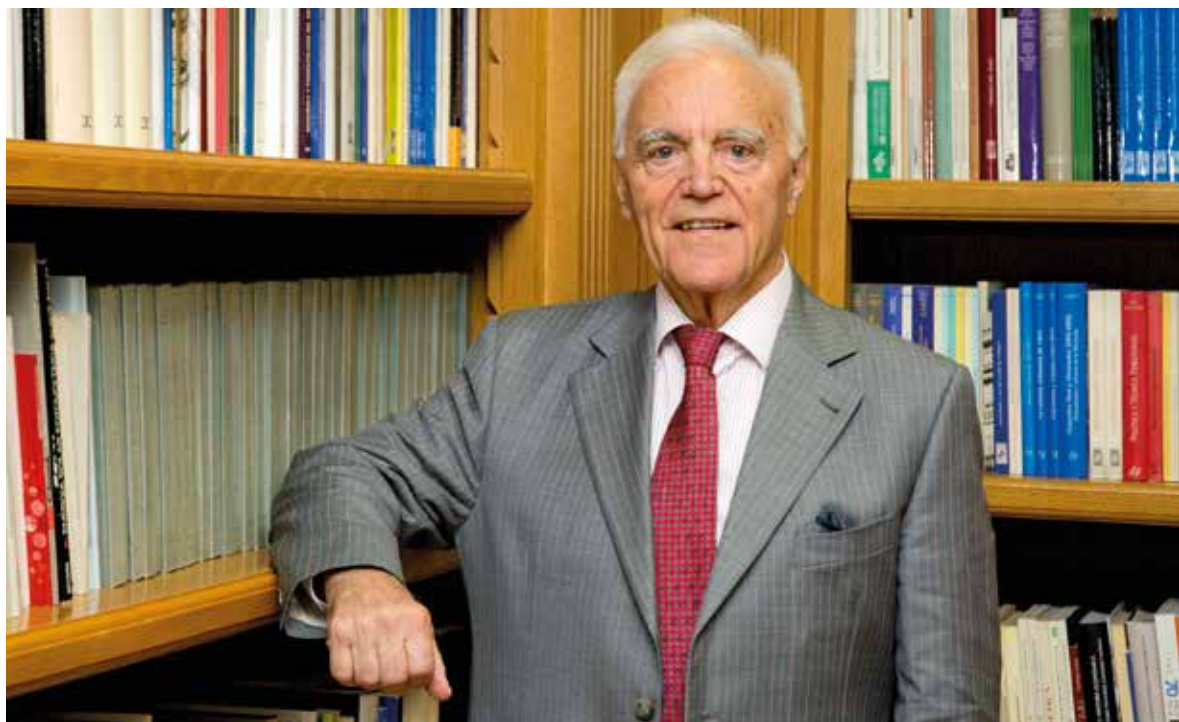
¿Cuáles son los principales objetivos y retos a los que se enfrentan esas nuevas campañas?

Los programas de perforación tienen como objetivo atravesar toda la corteza oceánica, que es de composición basáltica, de entre seis y siete kilómetros de espesor, y penetrar así en el manto oceánico. Hoy en día, hemos

perforado apenas dos kilómetros de corteza basáltica. Las dificultades técnicas son enormes, pero la ingeniosidad humana no tiene límites y confío en que este reto se cumplirá.

Para alcanzar este tipo de objetivos, ¿la colaboración internacional es clave?

Es algo fundamental por razones económicas, ya que cada expedición al mar tiene un alto presupuesto. También desde el punto de vista científico el hecho de trabajar en una red internacional que aglutine a los mejores laboratorios del mundo permite avances decisivos y rápidos. En este sentido, la exploración de los océanos se parece a la exploración espacial: una nación sola no puede hacer gran cosa. Un ejemplo admirable de esa cooperación es el programa internacional de perforaciones de los fondos oceánicos: los programas DSDP (Deep Sea Drilling Project), ODP (Ocean Drilling Program) y ahora IODP (Integrated Oceanic Drilling



"La exploración de los océanos se parece a la exploración espacial: una nación sola no puede hacer gran cosa"

Program), sostenidos por más de 25 naciones, ¡funcionan sin parar desde el año 1968!

¿Qué papel van a asumir los robots en estas misiones?

Los robots están sustituyendo cada vez más a los sumergibles habitados. Hemos pasado de los robots remolcados (los Deep Tows en inglés), a los vehículos teleguiados (ROV, Remotely Operated Vehicles), a los vehículos submarinos autónomos (AUV), perfectamente programados para ejecutar todo tipo de tareas en el fondo.

¿Cree que se va a perder el carácter aventurero del explorador, tanto en los fondos marinos como en el espacio?

El carácter aventurero ya se está perdiendo en la exploración de los fondos marinos. La era de los robots ha llegado. Los buceos habitados no tienen futuro, desde mi punto de vista, porque ya hay robots muy sofisticados que pueden hacer de todo: filmar, coger muestras... Es una pena porque acabará ese componente tradicional del explorador, pero vamos en esa dirección. En cambio, ¡mandar a unos

hombres hacia Marte será una aventura extraordinaria!

Conocemos la dificultad técnica para estas exploraciones, pero también la hay para explorar el espacio, y en cambio sabemos más de la cara oculta de la Luna o de Marte que de nuestros fondos marinos... ¿por qué?

Se decía esto hacía poco y yo mismo también lo decía en mis conferencias, pero hoy en día, creo que la precisión de la cartografía de los relieves submarinos en el océano mundial ha llegado a la misma calidad que la cartografía de la superficie de la Luna o de Marte gracias, en particular, a la ayuda de la altimetría vía satélite.

La llegada de los robots también eliminará ciertos riesgos. ¿Recuerda algún momento en el que temiera por su vida en aquellas misiones de los años 70 a bordo de pequeños submarinos y batiscafos?

Nunca he temido por mi vida, la verdad, ya fuera en los sumergibles franceses "Cyana" y "Nautil", en el sumergible americano "Alvin", o en el sumergible canadiense "Pisces XI" alquilado por los rusos. Desde la inauguración del "Alvin", en 1964, hasta hoy en día no hubo ningún accidente mortal, ni con heridos graves. Estos aparatos son segurísimos: es una diferencia crucial con las naves espaciales.

¿Qué misión recuerda con mayor emoción?

Sin duda, la misión americano-francesa RISE, con el sumergible americano "Alvin", en 1979, cuando descubrimos la actividad hidrotermal de

la dorsal del Pacífico a 2.500 metros de profundidad con sus chimeneas negras ("black smokers" en inglés) y los increíbles oasis de vida viviendo alrededor... Estoy muy orgulloso de haber hecho el primer buceo sobre una "black smoker" activa, el 21 de abril 1979, en compañía de mi colega americano Bill Normark, del US Geological Survey. Recuerdo cada minuto de ese buceo.

¿Qué supuso aquel hallazgo?

La gran revolución descubierta en los años 70 fue que los fondos marinos no son inmóviles y estáticos, sino todo lo contrario. Estos se mueven alejándose del eje de la dorsal como sobre una doble cinta transportadora, simétricamente, hacia el borde de los continentes.

El descubrimiento de las fumarolas tuvo doble impacto en la geología y en la biología. ¿Quién iba a pensar que hubiera vida allí? ¿Y que no necesitaran del sol?

Antes de 1977, ¡nadie! Y sobre todo los biólogos marinos, que decían que a estas profundidades los fondos eran un desierto biológico, debido a la falta de nutrientes. Nadie imaginaba la existencia de fluidos calientes ricos en CO₂, H₂S, CH₄ y elementos nutrientes en erupción en el fondo del mar... Además, nadie imaginaba que ecosistemas enteros podían vivir utilizando la quimiosíntesis en lugar de la fotosíntesis y la energía solar.

¿Conocemos ya cómo funciona nuestro planeta o aún nos quedan muchas sorpresas por explorar?

La teoría de la tectónica de placas

explica bastante bien los fenómenos geológicos que afectan a la litosfera, esa capa rígida superficial de nuestro planeta. El volcanismo, los seísmos, la deriva de los continentes, la formación de las cadenas de montañas... Nos queda mucho por estudiar en las capas más profundas de la Tierra, tanto el manto como el núcleo y sus dinámicas e interacciones con las placas superficiales.

¿En qué otro descubrimiento le hubiera gustado participar?

No sé qué decir. He vivido tantas expediciones en los océanos y en las grandes cadenas de montañas del mundo buscando restos de los océanos desaparecidos, que me considero muy afortunado de haber tomado parte en tantas exploraciones apasionantes... Aparte de esto, me hubiera gustado pisar la Luna y recoger muestras, como lo hizo el geólogo americano Harrison Schmitt, durante la misión del "Apollo 17", en diciembre 1972... ¡Qué envidia!

En una ocasión, pasó de los 6.000 metros bajo el mar a los 6.000 sobre el mar. ¿Pudo encontrar en el Himalaya restos de los océanos del pasado?

Sí, esta expedición de cinco semanas en las montañas del Ladakh, en la Cachemira india fue la más hermosa y fascinante de mis expediciones en las cadenas de montañas del mundo, buscando fragmentos de la corteza oceánica de los océanos del pasado, llamados ofiolitas. En el Ladakh, descubrimos un fragmento de la corteza oceánica del antiguo océano Tethys, que separaba la India de Eurasia, an-



tes de la colisión entre esas dos placas continentales. Remontando el río Yapola hasta su nacimiento entre los glaciales, descubrimos la ofiolita de Spontang, elevada hasta más de 6.000 metros de altitud por las colosales fuerzas de compresión y colisión que crearon las Himalayas.

¿Las piedras de las montañas tienen mucho que decirnos aún?

Las montañas terrestres contienen la memoria geológica de nuestro planeta. Contienen ofiolitas de todas las edades, hasta las más antiguas, datadas a más de 3.000 millones de años.

"Nadie imaginaba que ecosistemas enteros podían vivir utilizando la quimiosíntesis en lugar de la fotosíntesis"

"Las montañas terrestres contienen la memoria geológica de nuestro planeta"

Trabajó con los norteamericanos en el descubrimiento de las fumarolas y los entornos hidrotermales y después con los rusos en el Mar Rojo. ¿Se atreve a comparar esos modos distintos de trabajar?

Cuando embarqué en el enorme buque oceanográfico ruso 'Akademik Kurchatov', mi primera sorpresa fue que a bordo había la mitad de hombres y la mitad de mujeres: la paridad perfecta, tanto en el equipaje como en los equipos técnicos y científicos. Y me dio vergüenza pensar que en esta época no había ni una mujer en los barcos oceanográficos franceses o americanos. Menos mal que las cosas han cambiado desde entonces. Cada sábado por la noche, ¡había baile a bordo! Otra cosa que me sorprendió fue la pluridisciplinaridad de los equipos científicos: unos estudiaban la estratosfera, mandando globos allí arriba y emitiendo señales, otros estudiaban la fauna y la flora a distintas profundidades, otros eran geomorfólogos, también había geofísicos y químicos recogiendo muestras de agua. Los geólogos éramos un equipo más... Y puedo contar que durante las comidas no se bebía coca-cola como en los buques americanos, sino vodka ¡y del bueno!...

Aún nos queda el 95% de los fondos oceánicos por explorar. ¿Cree que ha habido cierto desinterés hasta ahora?

Desinterés científico, claro que no. Desinterés político, claro que sí. Los gobiernos de muchos países que gozan de una fachada marítima importante no se dan cuenta de las riquezas que tienen entre sus manos, simplemente explorando las 200 millas de sus aguas territoriales.

¿En el mar tenemos probablemente el origen de la vida en nuestro planeta?

Hay que ser precisos: no hay duda de que la vida en nuestro planeta apareció en el océano primitivo, hace casi 4.000 millones de años. Pero el origen de la vida es muy discutido: cada vez hay más partidarios de un posible origen extraterrestre de la vida, quizá a través de la lluvia de cometas que impactaron en la Tierra al principio de su historia.

¿Cree que las misiones actuales de exploración marina tienen más fines comerciales que científicos?

Encontramos las dos cosas. Los científicos siguen muy activos con sus programas internacionales y las empresas industriales desarrollan los suyos en busca de hidrocarburos o de minerales.

Hablaba en la Fundación Ramón Areces de cómo es posible que cuando se acaben los recursos minerales en los continentes iremos a buscarlos a los fondos marinos.

¿Lo ve factible?

Sí, ya ha empezado. Hoy en día, empresas mineras japonesas, australianas y canadienses invierten fondos en permisos de exploración alrededor de los arcos volcánicos del oeste del Pacífico por ejemplo.

¿Hay más riqueza mineral en los océanos que en los continentes?

Teniendo en cuenta que el océano cubre el 70% de la superficie terrestre, es probable que en masa haya más riqueza mineral en el océano. Además de los yacimientos polimetálicos a lo largo de los 60.000 kilómetros de la dorsal oceánica mundial, están también las inmensas superficies abisales cubiertas de nódulos de manganeso, níquel, cobalto, hierro, etc... Pero en variedad, yo diría que los continentes exponen un abanico muy completo de casi todos los elementos de la tabla de Mendeleiev. Por ejemplo, no pienso que haya yacimientos de uranio o de volframio en los fondos del mar.

¿Cuáles son sus próximos proyectos?

Ahora estoy jubilado, ya no puedo incorporarme a estos proyectos internacionales. Pero soy un miembro activo del CPIE Littoral Basque de Hendaye en Francia que está a 20 kilómetros de Donostia, donde presido una Comisión geológica muy activa y entusiasta. Entre otras cosas, organizamos cursos de geología y ciclos de conferencias para el público, realizamos excursiones en todo el País Vasco y publicamos libros, guías y mapas sobre la fascinante geología de la costa vasca y sus tierras.

¿Cree que nos falta mayor sensibilización sobre la protección de la naturaleza?

Yo no diría eso... Las asociaciones ecologistas han conseguido por fin convencer al hombre de la calle que la biodiversidad está en gran peligro y que nosotros, los humanos, somos en gran parte responsables de esta situación. Ahora hay que ir más lejos y llegar a cambiar nuestras costumbres y modos de vida. Cada uno, en su modesta esfera, puede hacer algo útil. Yo lo hago con mis amigos de la asociación CPIE Littoral Basque, cuyo objetivo principal es preservar el magnífico entorno natural que tenemos en la costa vasca.

¿Qué otras cosas le preocupan?

Me preocupa mucho el calentamiento global y el desinterés de los gobiernos, su falta de vista a largo plazo y de anticipación con respecto a las terribles catástrofes que amenazan la humanidad. Los gobiernos de muchos países, empezando por los Estados Unidos, no cumplen con lo que han firmado en los acuerdos de Kyoto y de París. Y esto lo vamos a pagar muy caro. Los huracanes que acaban de azotar a las Islas Baleares, Cataluña, Aragón y Málaga son solo una advertencia...

"Me preocupa mucho el calentamiento global y el desinterés de los gobiernos, su falta de vista a largo plazo"



LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

y sus consecuencias

Por ANTONY BEEVOR

The Royal Society of Literature



La Segunda Guerra Mundial es generalmente considerada como la mayor tragedia humana de todos los tiempos, por su número de muertos, destrucción y sufrimiento. Antony Beevor examina su desarrollo, su lugar en la historia, incluida la "larga guerra del siglo XX", y sus consecuencias en la configuración del mundo de la posguerra. La naturaleza del conflicto ha sido distorsionada durante mucho tiempo por un enfoque nacional, con mitos basados en las experiencias de cada país, pero ahora, una perspectiva mucho más internacional ha contribuido a ver el período y el mundo de posguerra de una manera menos partidista. Las consecuencias de la Segunda Guerra Mundial fue el tema de la conferencia que Antony Beevor pronunció en la Fundación Ramón Areces bajo el marco de la celebración del 50 Aniversario de la Universidad Autónoma de Madrid.

Experiences and memories of the Second World War are so different, that it is not surprising that each country has their own historical version of events

Even after so many years of work on the subject of the Second World War, historians are still overawed by its scope, by its size, and by its consequences. It was almost certainly the greatest human tragedy ever known.

The conflict stretched from the North Atlantic to the South Pacific. From the snowfields of Norway and Finland to the Libyan desert. From jungle fighting in Burma and on the islands and atolls of the Pacific rim, to the massacres by SS Einsatzgruppen in the borderlands of central Europe. For those involved in the fighting in one place – battles on the other side of the world could have been taking place on another planet. And when it came to the unspeakable horrors of the Sino-Japanese War, they were reminiscent of the conspicuous cruelty of marauding hordes in the dark ages to terrorise peaceful populations into submission. Comprehension today, in a post-military, health and safety environment, is indeed difficult.

It is very hard to appreciate the huge historical forces which killed some 60 to 70 million people. When we dwell on the enormity of the Second World War and its victims, we try and fail to absorb the reality of all those statistics of national and ethnic tragedy. The Poles lost nearly six million people, almost a fifth of their population. The Chinese lost more than twenty million. Estimates of total Soviet losses range from 24 to 26 million dead.

Stalin knew in 1945 that more than twenty million Soviet citizens had died, but

he tried to conceal this. As David Reynolds, the professor of international relations at Cambridge University pointed out, 'he settled for 7.5 million as a figure that sounded suitably heroic, but not criminally homicidal'. So less than a third of the true figure. [David Reynolds, Liddell Hart lecture 2005].

Experiences and memories of the Second World War are so different, that it is not surprising that each country has their own historical version of events. For Americans, the war started in December 1941 when Hitler declared war on the United States. Russians believe that it began only in June 1941 when Hitler invaded the Soviet Union. Most Europeans on the other hand consider that it commenced in Poland in September 1939. But for the Chinese it started in 1937, with the Sino-Japanese War. And many in Spain are still convinced that it began in 1936 with General Franco's nationalist rising to overthrow the Spanish Republic.

Historians often extend the conflict even further, arguing over what is called the 'Long war' of the 20th Century. Some say it lasted from 1914 to 1945. Others, like Professor Norman Davies, extend the period until the collapse of the Soviet Union in 1990.

Without getting lost in an endless debate, I think one can split the period and say with reasonable certainty that the opening of the First World War was largely the extension of rivalries from the 19th Century. But the period from the Russian Revolution in 1917 until the collapse of the Soviet Empire in 1990 was

essentially an international civil war, of which the Spanish Civil War was an integral part.

The statistics of suffering and the sheer size of the numbers are dangerously numbing, as the Soviet Jewish writer Vasily Grossman instinctively understood. In his view, the duty of survivors was to try to recognize the millions of ghosts from the mass graves as individuals, not as nameless people in caricatured categories, because that sort of dehumanization was precisely what the perpetrators had sought to achieve. But focusing entirely on the dead makes us overlook the way the Second World War also marked the whole life of survivors.

For example, a few years ago, I heard from a German friend that her sister's father in law had died. His most intense childhood memory came from January 1945 in East Prussia, when he was only four or five years old. To escape the indiscriminate vengeance of the Red Army, his mother took him and his siblings on foot across the frozen lagoon of the Frisches Haff. The ice began breaking up all around, with many people falling through to freeze and drown. Almost seventy-five years later, his last words before he died were: 'I can hear the cracking of the ice'. In the mad scheme of such a war, human life was intensely fragile. Survival was totally unpredictable.

In the Archives Nationales in Paris

In the Archives Nationales in Paris, I came across a short paragraph in a June 1945 report



by the French security police, the DST. This recorded that a German farmer's wife had been found in Paris having somehow smuggled herself onto a train returning French deportees from camps in Germany. It transpired that she had had an illicit affair with a French prisoner of war assigned to their farm in Germany while her husband was on the Eastern Front. She had fallen so much in love with this enemy of her country that she had followed him to Paris, where she was picked up by the police. That was all the detail provided.

These few lines raised so many questions. Would her difficult journey have been in vain, even if she had not been picked up by the

police? Had her lover given her the wrong address because he was already married? And had he returned home, as quite a few did, to find that his wife had had a baby in his absence by a German soldier? A recent book in France estimated that around 100,000 babies –known as ‘enfants de guerre’ or more viciously ‘bâtards de Boches’– had been fathered by German soldiers during the Occupation. I think this figure is an exaggeration. A more reliable estimate is that some 20,000 women had their heads shaved. In any case the bare bones of the story of the farmer’s wife could almost have become a novel by Marguerite Duras.

It is, of course, a tiny tragedy in comparison to the horrors of the eastern front. But it remains a poignant reminder that the consequences of decisions by leaders such as Hitler and Stalin, ripped apart the traditional fabric of existence and changed lives forever.

Many aspects are not as they appear on the surface as I have learned over the years. I remember as a young officer in Germany based next to Belsen concentration camp, being horrified by a memorial to the French Jews who had died there. It stated: ‘Aux Juifs français qui sont morts pour la gloire et la patrie’. I found the idea of French Jews dying for glory and the fatherland quite grotesque. Many years later I mentioned this to the French historian Henry Rousso. He replied: ‘I entirely understand your reaction, but you are completely wrong. It was the French Jews themselves who insisted after the war that memorials to their dead should have exactly the same wording as those of all the French. This was because they would never forgive Vichy for having tried to take away their French citizenship.’ Interestingly, while the war-time generation clung to their French nationality, their children and grandchildren were far more likely to emigrate to Israel.

Perhaps the hardest for almost all of us to comprehend fully is the true experience of soldiers. The conditions under which men fought were so desperate that today we can hardly imagine how they endured. Even many who were there look back with amazement. One Red Army officer, Vladimir Ivanovich Tyulenev, said: ‘Nowadays I can’t believe that we were able to live in the trenches, in the open, in the snow, never taking off our shoes or clothes, with no water or source of heat. How on earth did we survive all that?’ Between 1941 and 1945, some Red Army soldiers –those who survived the battles along the way– fought and marched for more than 12,000 kilometres.

Red Army soldiers, afraid both of their Nazi enemy and of execution by their own side, were put under a terrible psychological pressure. They and Soviet civilians were crushed pitilessly between the two totalitarian regimes. Red Army snipers at Stalingrad, for example, were ordered to shoot starving Russian orphans, who had been tempted with crusts of bread by German infantrymen to fill their water-bottles in the Volga.

The proud brutality of Soviet commanders is simply unimaginable in western, democratic societies. When it came to ruthlessness, General Zhukov even exceeded his master Stalin. On 4 October 1941, Zhukov as Commander of the Leningrad Front issued the following order: “To make clear to all troops that all families of those who surrender to the enemy would be shot, and they themselves would be shot upon return from prison.” Ironically, it did not occur to Zhukov when he issued this order, that under it Stalin himself was in theory liable to execution since his son Yakov Djugashvili had recently surrendered. I don’t think Stalin was unduly worried. He simply admired Zhukov for his pitiless determination¹.



The poet Fyodor Ivanovich Tyutchev famously said that Russia cannot be understood with the mind alone. Certainly, Russia under Putin cannot be understood without a knowledge of the Second World War, or the Great Patriotic War, as Stalin termed it. The whole question of sacrifice and suffering three quarters of a century ago created sacred myths, which still cast longer and darker shadows than we realise. Yet according to a recent Levada poll, the percentage of Russians who think that Stalin was most to blame for the high Soviet casualties in the war has fallen from 37% in 1997 to just 12% now. The rehabilitation of Stalin has indeed been gathering speed. The same poll also showed that 63% of Russians agree with Putin and still believe that the USSR could have been victorious in the Second World War without any help from its western allies. [Levada polling agency June 2017].

President Putin is always the first to claim that the Soviet Union won the Second World War in Europe single-handedly. This is a

fundamental part of his assertion that Russia is a major world power but has not been taken seriously. It is therefore important to examine this claim from several different angles. According to the calculations of the Bundeswehr's Militärgeschichtliche Forschungsamt, the Red Army inflicted 4,066,297 fatal casualties on the Wehrmacht, of which 363,343 were prisoners who died in captivity from disease, malnutrition and exhaustion. This total of just over four million represents three quarters of the total Wehrmacht death toll of 5,318,531². It is on this basis that the USSR, and now the Russian Federation, claim that it was the Red Army which broke the back of the Wehrmacht, and not the British or the Americans.

Putin refuses to acknowledge the American and British contribution to Soviet survival and victory on the eastern front. The great myth encouraged under Stalin was that the British and the Americans deliberately held back launching their 'Second Front' in a cross-Channel invasion in order to weaken their

Putin refuses to acknowledge the American and British contribution to Soviet survival and victory on the eastern front

Communist ally. In fact, any attempt to launch the D-Day invasion earlier than June 1944 would have led to a terrible disaster.

Putin also deliberately ignores the fact that, according to Khrushchev, even Stalin, 'stated bluntly that if the United States had not helped us, we would not have won the war³¹'. Marshal Zhukov, the most important Soviet commander agreed: 'Today some say the Allies didn't really help us... But listen, one cannot deny that the Americans shipped over to us material without which we could not have equipped our armies held in reserve or been able to continue the war⁴.' Along with the vast supplies of steel came food supplies which saved the Soviet Union from famine, especially in the winter of 1942-43. Red army soldiers in their dugouts used to joke on opening an American tin of Spam, 'Let's open the Second Front', however, are yet prepared to acknowledge that the controversial Allied strategic bombing campaign against German cities also helped the Soviet Union enormously. Whatever one might think about Air Chief Marshal Harris, known as 'Bomber Harris', his brutal and relentless bombing operations forced the Luftwaffe to withdraw the bulk of its fighter squadrons and anti-aircraft guns to defend the Reich. And this gave the Soviet Union air superiority on the eastern front. The 88mm anti-aircraft guns were also the Germans most effective anti-tank guns, which made a great difference in the ground war.

The other important side-effect of the Germans losing air superiority on the eastern front meant that they could not carry out air

reconnaissance over the Red Army's rear areas. This enabled the Soviets to carry out major deception operations –which they called *maskirovka*– to conceal their major offensives, such as Operation Bagration, a surprise attack which secured Belarus and eastern Poland and destroyed the Wehrmacht's Army Group Centre in the summer of 1944.

Finally, there is one irony which Russian historians still refuse to acknowledge. If the United States had not provided half a million military vehicles to the Soviet Union through Lend-Lease, then the US Army would have reached Berlin well before the Red Army. So, Stalin, Khrushchev and Zhukov were right, and Putin is wrong. The Soviet Union could never have defeated Hitler on its own.

Much has been written about the fighting qualities of the different armies in the Second World War, especially the difference between the armies of democracies and the armies of dictatorships. Much less has been said, on the other hand, about their similarities if one studies the performance of average, as opposed to elite troops.

All the studies of combat performance indicate that only a small proportion of front-line troops truly engaged in combat. An initial study in the British Army was carried out in Italy by Major Lionel Wigram in 1943. Wigram estimated that in most platoons of around thirty men, only a small handful of men really did the fighting. Another small group of men were likely to run away at the first opportunity. Those in the main group in between would

follow the fighters, if things went well, or the potential deserters if they went badly. General Montgomery was so horrified by the report that he had it suppressed and destroyed Wigram's career.

But Wigram was right. The Germans, meanwhile, divided their soldiers' combat performance into four categories:

Die Einsatzfreudigen –those who enjoy fighting.

Die Einsatzwilligen –those prepared to fight.

Die Einsatzgehemmten –those reluctant to fight.

And Die Einsatzflüchtigen –those who will flee from their duty. So it is the same as Wigram's breakdown except that the Germans split the main group in the middle in two⁵.

The American combat historian, Brigadier General SLA Marshall went into the subject in much greater detail soon after the war. And even though some of his research has been shown to be dubious, there can be little doubt about the overall thrust of his work which shows that only a minority of soldiers in a conscript army actually fired at the enemy. The Red Army was no different. As we found in the Russian archives, Soviet officers argued during the war that a weapons inspection should be carried out immediately after an engagement with the enemy. All those found to have clean barrels should be executed immediately as 'deserters'.

Previously, unpublished letters and diaries of the time give us an idea of personal experiences, but they also reveal the attitudes and mentalities holding sway. German



officers and soldiers, for example, felt that the Wehrmacht was invincible at the start of the war. It never seemed to occur to them then that the war which they were bringing so pitilessly to other countries, might one day turn back against them and destroy their own homes and families. Their triumphalism in the conquest of France in 1940 was buoyed up by relief that this war on the western front was completely unlike the battles of attrition in Flanders a generation earlier.

'There are many, many [German] divisions here who haven't fired a shot', a corporal in the 1st Infantry Division wrote home. 'And at the front the enemy are running away. French and English, equal adversaries in the world

war, refuse to take us on now. Just imagine. Positions like Amiens, Laon, Chemin des Dames are falling within hours. In 1914-18 they were fought over for years.'

'The face of war is dreadful', a German soldier from the 269th Infantry Division wrote home on 20 May. 'We live like gods in France. If we need meat, a cow is slaughtered and only the best cuts are taken and the rest is discarded. With our rifles in our hand we then break into a house and our hunger is sated. Terrible, isn't it? But one gets used to anything. Thank God that these conditions don't prevail at home.' The idea that the Führer had spared Germany such horrors – a typical confusion of cause and effect – became a constant refrain in soldiers' letters. That attitude only changed four years later when retribution approached.

Preparations for the massive assault on the Soviet Union prompted similar hopes of rapid victory. Forests of birch and fir along the Nazi-Soviet frontier concealed vehicle parks, tented headquarters and signal regiments as well as fighting units. Officers briefed their men, reassuring them that it would take only three or four weeks to crush the Red Army. The unnatural alliance of the Molotov-Ribbentrop pact was over. 'Early tomorrow morning', wrote a soldier in a mountain division, 'we're off, thanks be to God, against our mortal enemy bolshevism. For me, a real stone has fallen from my heart. Finally this uncertainty is over, and one knows where one is. I am very optimistic... And I believe that if we can take all the land and raw materials up to the Urals, then Europe will be able to feed itself and it will not matter how long the war at sea lasts.' A signals NCO in the SS Division *Das Reich* was even more confident. 'My conviction is that the destruction of Russia will take no longer than in France, and then my assumption of getting leave in August will still be correct.'

A fierce sense of relief also affected Soviet citizens that this treacherous attack had released them from the unnatural alliance with Nazi Germany. The young physicist Andrei Sakharov was later greeted by an aunt in a bomb shelter during a Luftwaffe raid on Moscow: 'For the first time in years,' she said, 'I feel like a Russian again!'. Similar emotions were also expressed in Berlin that at last the Wehrmacht was fighting 'the real enemy'.

This war of annihilation

This war of annihilation, as Hitler called it, was pitiless. 'The Russian is a tough opponent,' wrote a German soldier. 'We take hardly any prisoners, and shoot them all instead.' When marching forwards, some took pot-shots for fun at crowds of Red Army prisoners being herded back to makeshift camps, where they were left to starve in the open.

Thousands of Soviet citizens died in the bombing of the cities of Belarus. Survivors fared little better in their attempts to escape eastwards. 'After Minsk began to burn,' a journalist noted, 'blind men from the home for invalids walked along the highway in a long file, tied to one another with towels'.

Beyond the repression and starvation of ordinary Soviet citizens lay the far darker forces of Himmler's killing squads, the Einsatzkommandos. One day, a German transport Gefreiter accompanied by their company clerk happened to see 'men, women and children with their hands bound together with wire being driven along the road by SS people'. They went to see what was happening. Outside the village, they saw a 150-metre trench about three metres deep. Hundreds of Jews had been rounded up. The victims were forced to lie in the trench in rows so that an SS man on each side could walk along shooting them with captured Soviet submachineguns.



‘Then people were again driven forward and they had to get in and lie on top of the dead. At that moment a young girl –she must have been about 12 years old– cried out in a clear, piteous shrill voice. “Let me live, I’m still only a child!” The child was grabbed, thrown into the ditch, and shot.’ Only a few managed to flee the killing pits. On the north-eastern edge of the Ukraine, Vasily Grossman encountered one of them. ‘A girl –a Jewish beauty who has managed to escape from the Germans– has bright, absolutely insane eyes,’ he wrote in his notebook.

By the spring of 1944, the situation had completely changed. The Wehrmacht was in full retreat. Red Army soldiers advancing westwards had much to avenge. ‘Our car passed the body of a woman lying in the snow’, an Australian war correspondent noted near Velikie Luki. ‘Our driver did not stop. Such sights are common in the Russian war zone. The woman who had probably fallen out of line while being marched to Germany had been shot or had died of cold. Who will ever

know who she was? She was just one of many million Russians’.

‘To Bobruisk led the road of revenge!’, wrote a war correspondent accompanying the Soviet armies in Operation Bagration. ‘With difficulty, our car finds its way between scorched and distorted German tanks and self-propelled guns. Men are walking over German corpses’.

As the Wehrmacht’s retreat continued, nervous breakdown became a much more open subject in letters home to Germany. ‘Psychologically’, wrote a gunner in a heavy artillery battery, ‘I am finding it increasingly hard to manage when you’ve just been having a good chat with a comrade and half an hour later you see him as little more than scraps of flesh as if he had never existed, or comrades, who are lying badly wounded in front of you in a large pool of their own blood and beg you with pleading eyes to help them because in most cases they cannot speak any more, or pain takes away their power of speech. That is terrible... This war is a crushing war of nerves’.

One of the most important lessons of the Second World War is that it defies generalization and easy categories

When in April 1945, the German front line began to break east of Berlin, traumatised survivors ran back, shouting '*Der Iwan kommt!*'. Further back, local farmers and their families also started to flee. 'Refugees hurry by like creatures of the underworld', wrote a young soldier, 'women, children and old men surprised in their sleep, some only half-dressed. In their faces is despair and deadly fear. Crying children holding their mothers' hands look out at the world's destruction with shocked eyes'.

As Berliners awaited the arrival of the Red Army, people prepared to meet their conquerors in different ways, either frivolous or tragic. In the Adlon Hotel, staff and customers listened to the sound of artillery shells. 'In the dining room,' wrote a Norwegian journalist, 'the few guests were overwhelmed by the readiness of waiters to pour the wine in a constant stream'. They did not want to leave any for the Russians.

On the other hand, some fathers, as they left to join their Volkssturm unit to defend Berlin, thought only of the fate awaiting their families. 'It's all over, my child', one told his daughter, handing her his pistol. 'Promise me that when the Russians come you will shoot yourself.' He then kissed her and left. Others killed their wives and children, then committed suicide themselves.

In the Far East, before the Japanese attack on Pearl Harbor and Malaya, the appalling complacency and racial arrogance of colonial society had produced a dangerous self-

deception. The British convinced themselves that all Japanese soldiers were very short-sighted and inherently inferior to western troops. In fact they were immeasurably tougher, far more mobile and astonishingly self-sufficient. They did not need bridging equipment. Their soldiers cut thick bamboos, then threw themselves in pairs into the river, and bent forward with the bamboos running from shoulder to shoulder in parallel to form a bridge for their comrades to run over.

Japanese soldiers had been brought up in a militaristic society. Their mothers would lovingly prepare a 'thousand-stitch' scarf for them to wear, supposedly to ward off bullets. The whole village or neighbourhood, paying homage to these martial values, would usually turn out to bid farewell to a conscript departing to join the army. Soldiers dreaded disgracing their family and community. And this, according to a number of Japanese historians, was far more powerful than ideas of glory in dying for the emperor.

Designed to destroy individuality

Their basic training was designed to destroy individuality. Recruits were constantly insulted, slapped and beaten by their sergeants and corporals to toughen them up. In what might be called the knock-on theory of oppression, this treatment was also intended to provoke them to take their anger out in turn on the soldiers and civilians of a defeated enemy. All of them had also been indoctrinated since elementary school to believe that the Chinese were totally inferior to the 'divine

race' of Japanese and were 'below pigs'. One Japanese soldier admitted that although he had been horrified by the gratuitous torture of a Chinese prisoner, he had asked to be allowed to take part to make up for a perceived insult.

During the Rape of Nanking in December 1937, Japanese officers made Chinese prisoners kneel in rows, then practised beheading them one by one with their samurai swords. Their soldiers were also ordered to carry out bayonet practice on thousands of Chinese prisoners bound up or tied to trees. Any soldiers who refused were beaten severely by their NCOs.

The Imperial Japanese Army's process of dehumanising its troops was stepped up as soon as they arrived in China from the home islands. A Corporal Nakamura, who had himself been conscripted as a soldier against his will, described in his diary how they made some new recruits watch as they tortured five Chinese civilians to death. The newcomers were horrified, but Nakamura wrote: 'All new recruits are like this, but soon they will be doing the same things themselves'.

John Rabe, the German businessman from Siemens, who courageously organized a safety zone in Nanking, wrote in his diary: 'I am totally puzzled by the conduct of the Japanese. On the one hand, they want to be recognized and treated as a great power on a level with European powers, on the other, they are currently displaying a crudity, brutality and bestiality that bears no comparison except with the hordes of Genghis Khan'.

Imperial Japanese Navy pilots would sit down to play bridge together, in what they considered a respectful imitation of British Royal Navy officers in the wardroom. But they would behead any shot-down American pilot pulled from the sea. Japan in the 1930s had

become a dangerous combination of ancient culture and parvenu power.

I think that in the course of all my researches the discovery that shocked me most, was the way that the Japanese military authorities did not merely condone, but actively encouraged cannibalism, especially towards the end of the war. These were not isolated cases. A similar pattern was found across the army in China and Pacific garrisons who had been cut off from supplies by the US Navy. It became clear from all the reports collected later by American authorities and the Australian War Crimes Section that the: 'widespread practice of cannibalism by Japanese soldiers in the Asia-Pacific war was something more than merely random incidents perpetrated by individuals or small groups subject to extreme conditions. The testimonies indicate that cannibalism was a systematic and organized military strategy'⁶.

Both locals and Allied prisoners of war, especially those who remained loyal to the British from the Indian Army, were kept alive as 'human cattle' and then butchered for their meat one by one. Allied authorities, understandably afraid of the horror this would cause to the families of all those who died in prison camps, decided to suppress the facts entirely. As a result, cannibalism never featured at the Tokyo War Crimes Tribunal in 1946.

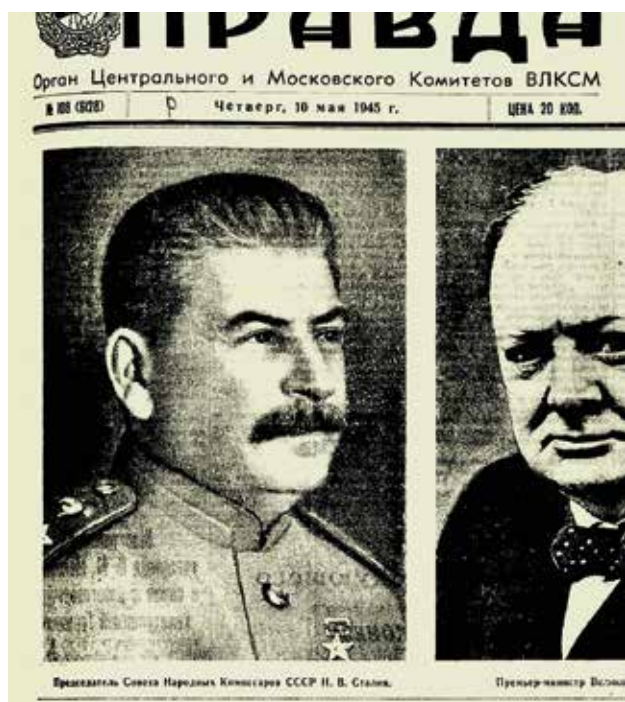
The Japanese dehumanisation of their enemies in the Second World War was rapidly reflected. The hatred felt by most US Marines and soldiers was hardened by Japanese suicidal resistance and their cruel treatment of Allied prisoners. American troops, like most British troops in Burma, refused to see their Japanese enemy as human. Men from the 1st Marine Division landing on New Britain the day after Christmas 1943, were told by their

commander: 'Don't squeeze that trigger until you've got meat in your sights. And when you do –spill blood– spill yaller [yellow] blood'. Some Marines decapitated Japanese corpses in order to boil the head and sell the skull when they got back home.

On 9 May 1945, when news of Germany's surrender reached the rifle companies of the 1st Marine Division during the battle for Okinawa, their reaction was 'So what?' They were exhausted and filthy, and everything around them stank. As far as they were concerned, the war in Europe was indeed another war on another planet. After the savage fighting on Okinawa, there remained the even more dreadful prospect of invading the Japanese Home Islands of Honshu and Hokkaido, where soldiers and civilians alike were preparing to fight on to the death. None of the Marines knew then of the atomic bombs prepared in such secrecy.

It was not just the nuclear age and the Cold War and the which began in 1945. The consequences of the Second World War reshaped the world. It also brought world history together for the first time, partly because of the global reach of the conflict, but also because it sealed the fate of colonialism, the British, French, Belgian and Dutch Empires. Portuguese colonies lasted longer, until just after the fall of the dictatorship with the Carnation Revolution of April 1974.

In the Far East, the defeat of the Japanese and the advance of the Red Army across northern China and Mongolia enabled Mao Zedong's Communist Party to win the civil war and centralise the country. Although impossible to imagine at the time, this centralisation of Communist power would enable China seven decades later to become a capitalist economic giant and then a military super-power.



One of the great debates of recent years has been over the origins of the Cold War between the West and the Soviet Union. Did Stalin out-manoeuvre Churchill and Roosevelt at the Yalta conference and then break his word over free and fair elections in Poland? Churchill was indeed far too optimistic, if not self-deluding. 'I have great hopes of this conference', he told the House of Commons before leaving, 'because it comes at a moment when a good many moulds can be set out to receive a great deal of molten metal'. Churchill was suffering from the heady illusion that the so-called Big Three could remake the international order on a stable footing. 'We had the world at our feet, twenty-five million men marching at our orders by land and sea. We seemed to be friends'.

Or did the Cold War start in 1947 with the Clay-Robertson agreement to revive West Germany, and the announcement of the Marshall Plan for American aid to a war-devastated Europe? At an international

войны в Европе кончился. Начался период
мирного развития.

И. СТАЛИН.



Уинстон У. Черчилль.



Президент США Г. Труман.

conference in Brussels on the 70th anniversary of Yalta, I argued that the origins of the Cold War in fact lay in Stalin's traumatic shock and humiliation on 22 June when the Wehrmacht invaded the Soviet Union, after his obsessive refusal to acknowledge the possibility. Stalin's paranoid fear of surprise attack afterwards made him even more determined to create a cordon sanitaire of Communist satellite states, centred on Poland and East Germany, to make sure that the Soviet Union could never be taken by surprise again. Ever since its mediaeval origins, Russia had been paranoid about encirclement and consequently obsessed with occupying or controlling its neighbours in 'the near abroad'.

I once asked a very distinguished psychiatrist, who was fascinated by the Second World War, how he would define Hitler and Stalin. After making the usual qualifications about the dangers of analysing people you have not met, he replied that Stalin was almost certainly a paranoid schizophrenic, but in the

case of Hitler, all you could say was that he had a personality disorder.

The Second World War and the Yalta conference also gave birth to the United Nations, which was inspired by President Roosevelt's belief in the possibility of a more peaceful world. I remember in the wake of the Szebrinica massacre asking General Mike Jackson about the UN's ineffectiveness, and he replied quite simply: 'If it didn't exist, we would have to invent it.' This is, of course, true, but the concept of 'armed humanitarianism' in the UN Security Council resolution 794 of December 1992, in other words approved military intervention, arose out of the conflict in the former Yugoslavia. This introduced a paradox, with which we are living today, because there was no proper debate about the impact on international law and the basic premise of the UN itself that national sovereignty was sacrosanct.

In 1945, a war-ravaged Europe was left bankrupt and enfeebled. In fact, western Europe might also have gone Communist if it had not been for the Marshall Plan aid from the United States which in 1948 kick-started economic recovery. And the horrors of the conflict and its consequences spurred the start of a movement towards European union. But as Professor Ian Kershaw demonstrates in his new book, *Roller-Coaster – Europe 1950 to 2017*, it was the American economic and military shield in that post-war period, which enabled western European countries both to revive and to come together.

But European integration is a story both of the confusion of cause and effect, and of the law of unintended consequences. It has long been an article of faith that the move towards unification has saved the continent from another war. But this argument is historically false. The real truth of course is that

democracies do not fight each other. Peace is a question of governance, not unification. It is precisely the undermining of democracy which creates the conditions for conflict. And history has shown time and again that attempts to suppress nationalism make it far more virulent.

To paraphrase Saint Augustine, European leaders seem to be praying, give us union, but not yet. Depending on the circumstances, they are either looking backwards to national sovereignty or forward to unification. Perhaps the symbol of the European Union should revert to the double-headed eagle of the Hapsburgs.

We are in the age of 'fake news', as President Trump of all people, so bizarrely keeps reminding us. But as we see from Putin's quite shameless contempt for the truth, lies are the weapons of choice of dictators and aspiring autocrats. It recently reached a new level. Regimes have started to finance movies to try to turn historical fantasy into fact. In Russia President Putin ordered the financing and production of a film called 'Panfilov and his twenty-eight men'. This is a story in the battle for Moscow in December 1941 where a small group of men were supposed to have held up a whole German panzer division on their own. Sergei Mironenko, the highly regarded head of the State Archive of the Russian Federation was sacked in March 2016 for revealing that official documents showed that the whole account had simply been invented by a journalist as part of Soviet propaganda. Yet Vladimir Medinsky, the minister for culture, said that anyone who denied the story, whether or not it was true, was 'below slime'.

In Poland, the Law and Justice Party, commissioned a movie about the Smolensk plane crash, which tried to give substance to their own conspiracy theory that this accident,

due entirely to human stupidity, was actually a deliberate plot to kill their president.

In the midst of alarming global instability

Now, in the midst of alarming global instability –social, political, technological and economic– it is understandable that people look again at the Second World War as a cautionary tale, one that can alert us to danger signals and perhaps offer useful signposts towards a more peaceful future. That, at least, is the optimistic viewpoint. Others might argue that we've learned little from history's greatest human tragedy and are blindly headed towards another global conflict.

Of course, we need to understand the past to make better sense of what's happening around us now. And we must avoid the temptation to generalize or draw bogus parallels. The Second World War was a complex business and our understanding of it must be equally nuanced. We tend, for example, to reduce the war to a battle between major powers. Some misleadingly portray it as a fight between democracy and dictatorship. In fact, it was a conglomeration of conflicts. Some were Great Power rivalries. Yet all, to a certain degree, were influenced by the international civil war between the polarized extremes of communism and fascism.

The sheer brutality of the Second World War is underlined by the fact that for the first time in history, far more civilians were killed than combatants. This can only be explained in terms of ideologically fuelled dehumanization –nationalism, stirred to a fever pitch and extolling racism as a virtue, but also Leninist class warfare aiming to exterminate the bourgeoisie. Not surprisingly, the Soviet Union fought tooth and nail after the war to prevent class warfare from being included in the international definition of genocide.

In any case, the great Soviet physicist and dissident, Andrei Sakharov observed that Stalin may have killed more people, but Hitler had to be defeated first, and he was of course quite right. If the Nazis had succeeded in defeating the Soviet Union, their so-called Hunger Plan to reduce the population by thirty-five million through deliberate famine would have dwarfed even the horrors of the Holocaust.

No other period in history offers so rich a source for the study of moral choice, individual and mass tragedy, the corruption of power politics, ideological hypocrisy, the egomania of some commanders, betrayal, perversity, unbelievable sadism, but also self-sacrifice and unpredictable compassion. In short, one of the most important lessons of the Second World War is that it defies generalization and easy categories.

If it's any comfort, I'm convinced that history never repeats itself. Nothing in human affairs is inevitable. But on the other hand, I believe that future waves of migration into Europe from an Africa devastated by global warming, will present intolerable moral choices for European leaders in the relatively near future: perhaps even harder ones than in the Second World War. Whom do they keep out? Whom do they let in? How many refugees can you allow in before democracy is destroyed by extreme right-wing nationalists and neo-fascists supported by a frightened mass?

Perhaps the Second World War's most important lesson is a moral one. Even in the midst of the most horrifying conditions, on all sides, there were those who never let go of their fundamental belief in humanity. Their example is something worth upholding as we struggle to resolve the profoundly disturbing challenges and potential conflicts of the world today.

Bio



ANTONY BEEVOR

Es autor de varias obras importantes sobre la Segunda Guerra Mundial. Sus libros han vendido más de ocho millones de copias en treinta y dos idiomas. Su libro *Stalingrado*, que ganó el Premio Samuel Johnson, el Premio Wolfson de Historia y el Premio Hawthornden de Literatura, marcó un cambio clave en la redacción de la historia militar. Beevor, un ex profesor de Lees-Knowles en la Universidad de Cambridge, es profesor visitante en la Universidad de Kent y miembro del King's College London. Es miembro de la Royal Society of Literature y la Royal Historical Society y fue nombrado Caballero en 2017.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ RGASPI F.83 Op.1 D.18, p.18.

² Wehrmacht casualty figures, Rüdiger Overmans, *Deutsche militärische Verluste im Zweiten Weltkrieg*, Oldenbourg, Munich, 2000.

³ Khrushchev, Nikita, *Memoirs of Nikita Khrushchev: Commissar, 1918-1945*, vol. i. Pennsylvania State University Press, 2005, pp. 675.

⁴ Albert L. Weeks *The Other Side of Coexistence: An Analysis of Russian Foreign Policy*, New York, 1974, p.94.

⁵ Dr Hans Mühle, 306th Infanterie Division, 18.1.1943, BA-MA N241/42.

⁶ 'widespread practice of cannibalism. . .', Tanaka, *Hidden Horrors*, p.126.

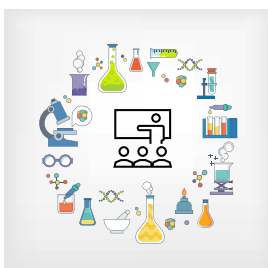


ADOPTANDO UN PUNTO DE VISTA CIENTÍFICO

en la enseñanza de la ciencia

Por CARL WIEMAN

Premio Nobel de Física 2001



Guiada por la teoría y la experimentación, la ciencia ha avanzado con rapidez en los últimos 500 años. Por el contrario, guiada fundamentalmente por la tradición y el dogma, la enseñanza de las ciencias e ingenierías ha permanecido en buena parte, medieval. La investigación de cómo aprenden las personas, combinada con experimentos en clase, está mostrando formas de aprendizaje y de evaluación en el ámbito universitario mucho más efectivas que las que actualmente se usan en la mayoría de las clases de ciencias e ingenierías. Estas investigaciones están estableciendo las bases de un nuevo enfoque para la enseñanza de la ciencia para todos los estudiantes, que puede proporcionar la educación efectiva y relevante que necesitan en el s.XXI. Carl Wieman ha liderado un proyecto en el que se puso a disposición de profesores de las universidades de Boulder y de British Columbia, asistentes dedicados "exclusivamente a ir a las clases de los profesores, criticar con firmeza su metodología y ayudarles a introducir formas de enseñar más eficaces". De esto habló en la conferencia organizada junto con la Universidad Autónoma de Madrid y la Real Sociedad Española de Física, y que se enmarca en el ciclo de conferencias organizado para conmemorar el 50 aniversario de la UAM.

Learners need to practice thinking like an expert and they need to have good feedback

The first thing I want to say is why I see science education as important. It's not about trying to turn everyone into scientists. However, there are many elements of modern society where people have to be making decisions, and they're fundamentally technical at their heart. Having a basic understanding of science and how science functions is essential for citizens in order to be able to make wise decisions on these critical issues. The second reason is modern economy is so based on science and technology that, if you look carefully, almost independent of what occupation a person goes into, they'll be more successful if they have a basic understanding of science and scientific thinking. One of the greatest examples I've seen of this was talking to a modern farmer who's successful; they use an enormous amount of science and think scientifically in the way they do their farming.

Just a little background of how I became interested in education and how I came to think about it in a very different way. It actually started way before I got the Nobel Prize, but it's only after I got the Nobel Prize people started paying more attention to what I had to say on the subject. I got started in this through looking at my physics research, and noticing a very strange but consistent pattern. My students would come into my lab with many years of great success in physics courses and exams, but they didn't know how to do physics. It wasn't they were incapable because just a couple of years later, they had turned into physicists. So after seeing this happen over and over again, I decided this wasn't an accident of some individuals. There was some fundamental issue going

on here and I decided to treat it as a science problem. About 30 years ago, I started looking very seriously into what was the research on how people learn, particularly how they learn physics, which could explain this puzzle. The result was, once I came to learn and understand what people knew, I saw there was a completely different way of teaching than what I knew about, and that it would likely be much more effective. I could understand this puzzle in terms of the failures of traditional teaching, and also got interested in the idea you could really approach teaching and learning as a science, so I started doing that kind of research too. For many years, I had two research groups that I was trying at the same time. One was blasting atoms with lasers and seeing what they did. The other one was studying the teaching and learning of science. What I came to learn is, just over the past couple of decades, researchers have developed new insights about what's important in the learning and how to do the teaching more effective for developing what I call complex thinking, which means being able to think like a scientist or like an engineer and approach solving problems that way.

This research has come from three different areas, which are now coming together to give a very consistent picture. There are the cognitive psychologists who study how the brain thinks and learns at a very fundamental level. Most recently, there's the brain research. And then, the work that's most closely related to what I do is studies within university science and engineering classrooms. These are not carried out by education professors and education



schools. They necessarily are carried out by professors in physics departments, chemistry departments, biology, etc. And it's essential. They're really the only ones who have the capability to understand the thinking in those fields and to actually do the studies on it. This is a rather radical idea, a different way of thinking about research in the area. It's started mostly in the US, but now, it's slowly spreading across the world.

Before I get into details, I'm going to talk about some principles of learning and teaching and research that's done at university level. People always wonder when they first hear about it how this can be applied in the same way at the lower grade levels—K12, primary and secondary. It's a complicated question because at those lower grade levels, there're many more variables that come in to affect what happens, so the research is much harder to carry out. It doesn't give nearly as clean a kind of results. I think there are good basic

reasons to believe that the same principles apply at the lower grade levels, but there can be many other things that come in that could change the results you get. The things I'm going to explain, based on universities, are things we know so much about, we can tell a person, "Go in, teach just like this and your students are going to learn more. They're going to learn at this level." That reproduces and has been done many times, but you don't have that kind of replication tests at the K12 level.

People like myself and other researchers are doing studies of science education. In one of these studies, a very large introductory physics class had been divided into multiple sections, and two of those sections were carefully measured. Populations were very identical between the two. The two instructors for the experiment agreed to cover exactly the same material in exactly the same amount of class time, one week.

The students were given a surprise quiz on that material to see how much of it they'd learned from lecture. The first instructor was somebody who was a very experienced professor, taught this many times, but used a traditional lecture approach, the kind of teaching that's still used overwhelmingly in most science courses in the US and in Europe almost exclusively. The second section was taught by an instructor who'd been trained in using these scientific methods that have been tested in research on learning. They taught these different ways and there was a big difference in the results in this measure of learning. That's a sort of standard of many different research studies.

The background

The background here is that we're in an interesting situation, historically thinking, about university science teaching. It's really much like the situation medicine was in the mid to late 19th century where you had the methods the doctors were using and firmly believed in. Bloodletting has been used for hundreds of years and was the treatment of choice. But you also had science coming along Pasteur and others showing there was a completely different way to think about disease, the origin of disease, and you could have things like vaccinations, which are much more effective than what people had been using there. We are now in a similar situation with science education, it's not so easy to change 100-year-old to 500-year-old traditions. But we're working on it. And again, it's really driven by science. The learning can give you completely new ways to think about it that actually can be tremendously beneficial.

I'm going to give you a very high-level picture of a completely different way to think about learning, which this research has given us. In the old model, and I would

say that's the current model of which most universities are taught, there is the idea that those brains come into the classroom and they vary in different ways. We immerse them in knowledge and, basically, it soaks into different amounts depending on what the properties of those initial brains were. And so, if you have that basic belief, that shapes what universities focus on in education. They will choose what's the best set of knowledge that you're going to expose those brains to, the choices of curriculum, and so on. And you're going to worry because you want to make sure you select the best possible brains that will soak up more knowledge—that's a selection process. Then, when it turns out not to work very well, they always switch to blaming it on the primary and secondary education system.

But the more correct view that the research is telling us now is that, in fact, the brains aren't fixed things that you fill up with knowledge. They're actually changeable. The brains come into the classroom not that fundamentally very different. As a result of what kind of experiences they have in their education, they're actually transformed. They're literally changed and it's the changes they make in response to the kind of thinking practice that they do in the education system what produces new capabilities. Being able to think in new ways lie in those rewired brains. We also see that that change is much less dependent on the knowledge they're being given than actually the teaching methods that go into how the knowledge is presented to them.

This is relatively new research and it's not recognized by most administrators and university instructors. In the US it's becoming a little bit known and actually it's significantly growing in its recognition. There's a couple of major national studies that came out where

important groups, like the National Academy of Science, looked at this research and came to conclusions. They were convinced that now we know how to do things better and so they called upon universities to adopt this. I would say there's quite a strong indication, which is going to probably have implications all over the world, related to what's happening in the American Association of Universities. This is the organization that gathers the 60 most prominent universities in North America —Harvard, Stanford, MIT, Cal Tech, University of California, Michigan, etc. Before 2011, all their meetings and discussions were focused on research and funding. Teaching was something that the organization didn't pay attention to. Now you can contrast that to how that's changed with the statement from the president of the association last year where she says, "we cannot condone teaching of introductory STEM courses —science, engineering and mathematics— simply because a department, a professor or an institution fails to recognize that there are in fact more effective ways to teach. Failing to implement these evidence-based teaching practices in the classroom must be viewed as irresponsible. We have an obligation of fulfilling our collective mission". From an organization like this, that's always been very careful in what it's going to say, this is an extraordinarily strong statement and I think it tells you that the leadership is really starting to decide we have to make substantial changes. Let me go back to what is we're trying to accomplish and what's the kind of evidence that's convincing the president of AAU to do that. I'd argue that the basic educational goal is to have students through their courses and educational experiences they learn to think about. That means to make decisions more



like a scientist or an engineer in that field. It's not going to turn them into that but at least can move them along in getting better at it.

Let's now focus on what makes up expert thinking. This has been studied across a variety of fields: historians, scientists, chess players, doctors, etcetera. They've seen a very small set of things that really characterize that expert thinking that are the same across all these different fields. They've also seen that there's a very similar process of developing those capabilities in each field. I'm going to go through those starting with what is part of expert thinking. First, experts in a field have a lot of knowledge about the subject. That should be no surprise to anyone. But what's not so obvious and perhaps more important

The lack of evaluation means that institutions don't really count teaching at all in their hiring and evaluation

is that in any given subject or discipline, the experts have the same structure by which they organize that knowledge. This organizational structure allows them to be much more efficient and effective at retrieving and applying that information, that knowledge, for solving problems in that discipline. So these organizational structures involve recognizing and organizing things in certain relationships that are going to consistently come up. When we talk about scientific concepts, it's really the way scientists in that field have taken a whole bunch of different results and organized them into one concept or principle. If I've got a new problem, it'll be easier and faster to find which of these concepts are going to be useful and not useful in solving that problem. The third basic thinking capability of experts in their discipline is being able to monitor their own thinking. When an expert's working through some problem, they're able to ask themselves if they are making any progress, or otherwise, if they should stop and look for some alternative way of solving the problem. This is something you see experts routinely do, but if you actually look at the students, they don't do that at all. They'll blindly follow forever a bad approach. What the research on this expert thinking has shown is that across all fields, these are fundamentally new ways of thinking. No one is born or comes in with the capability of actually doing this. It's only developed through many hours of intense practice developing these capabilities. In fact, to reach a very high-level, a university professor level of expertise takes many thousands of hours and that doesn't vary that much across different individuals.

Quite recently, through brain research we have come to understand that this intense practice is a basic biological requirement that the brain actually has to be changed. What the data's showing is that it's very similar to what happens if I want to build up any muscle. There are a few things I absolutely have to do. I have to use that muscle. I've got to use it very strenuously and I've got to do that over a long period of time. In response my body agrees to keep making that muscle bigger and stronger. The body does the same thing with the brain. This extended strenuous mental effort actually changes the neurons, how they're connected up. It's really in that rewired brain where you have the expertise, but you have to give the brain the right kind of exercise to make that happen. Just to see how this actually works, we did a functional MRI scan of two people as they were looking at an x-ray and interpreting it. One of them was a medical student, just starting to learn about this, and the other was an expert radiologist. We could see what parts of their brains were active and they were completely different between the two. In some studies where people have actually tracked learning over time, you can see how the brain activation changes as people become more expert in a subject. So the bottom line is that we need to change the brain. We need to do that by giving intense exercise and the proper kinds of practice.

Learners need to practice thinking like an expert and they need to have good feedback. A good feedback is timely and specific, which means it has to come while they've thought about something. They have to understand

what was right, but more importantly what areas were wrong and could be improved, while they still remember that thinking and how to make that improvement. That has a tremendous impact on learning, more important than pretty much anything else, but is something that's very often neglected. People are just told what is right or wrong, but that's not very helpful for actual learning. So this practice with feedback is critical here.

But then, what goes in to determine what they're practicing? That's where all of these things get important, the disciplinary expertise. This is where the fact that's really important that the teacher be an expert in the subject so they know how a biologist thinks about biology. They can give the students tasks and feedback about practicing thinking like a biologist, thinking like a physicist, etc. Prior knowledge for these tasks you're giving the students to do, it has to be at the right level consistent with what they already know, and not impossible but not easy. Motivation is critically important. This has to be an intense effort because people, no surprise, always learn better if they're more motivated to do that. A good teacher thinks about what will motivate students to learn more. And there are some basic constraints about how the brain works. So if you're looking at a certain practice and what you want them to learn, they have to practice the right kind of thinking and right kind of skills. That's where the instructor expertise comes in. But to get more specific, what's really critical is that the teacher puts the students in a position of practicing the decisions that a scientist makes in solving and thinking about the science and solving problems. This aspect of thinking about the decisions is really valuable in guiding the instruction. If scientists are facing a real authentic problem in the field, the first question they ask is what concepts and models are going to be relevant

to this situation, but also which ones are not relevant. Then they have to think what information's needed to solve this problem. And in terms of what I'm given, what if that is irrelevant. Then, decide what approximations are appropriate to use in moving forward to solve that. And finally, coming up with the potential solution methods and evaluating those based on this.

I particularly stress this because if you look at what kind of things students are asked to do on exams or homework problems, typically, they never test them on making those decisions. They're always giving just the information and concepts they need. Basically, they are never given the opportunity to learn these critical thinking aspects of thinking scientifically, which back to my graduate students, that's exactly why when they do well in physics courses, they don't know how to do physics. There's one critical point that also gets neglected, which is that in any field of science once they get to a conclusion or a solution, there's very specific ways that scientists know about how to test if that conclusion makes sense or needs to be re-examined. These critical aspects of thinking like experts need to be built into the teaching practices for the students to learn.

It's critical that the learners practice making those decisions and using the right process and content to do that. We see a lot of teachers who get to the point of realizing they should cover these decisions, but they decide it's much more efficient if they just tell students what answers they should come up with rather than having them take time to make the decisions and find out what was wrong or not. That's a reasonable argument they might make, but it's absolutely wrong when you actually test it. We've been doing some tests of this recently, a very clear comparison of having students in the same

situation covering the same material, having them make decisions themselves, whether those are good or bad, and then finding out the outcome of the feedback on their decisions, versus just being told the proper outcome of the decisions. And we see enormous differences in the capability of those students in thinking about new problems between those two cases.

Regarding the motivation, there's a bunch of elements that come in there, but the most important is presenting the material in some interesting, relevant context so the students can see why this is interesting and valuable to learn. I won't get into brain constraints, the details of how the brain processes and remembers new information. But instead, I'm going to go give you some examples of how to apply these things in the actual science classroom. I'm going to show you how to do it, and how our research says you can do it effectively. I'm going to give the example I know best of a large introductory physics class, although there's similar examples and data showing effectiveness across all fields of science.

Imagine you're a first-year student and I'm going to teach you the basic ideas of electric current voltage. What I do first is to give you a short pre-class reading assignment. I don't expect you to really understand the subject based on just reading that, but I know that you can learn basic phenomena, facts and terminology, so you come to class better ready to do more learning and thinking, and I don't waste class time on stuff you can read. Class doesn't start with me telling you things; it starts with questions. So for example, I would give you a question about a circuit with a battery and light bulbs. You have to predict what's going to happen to the brightness of this bulb when I close that switch. Since there're many students

in the class, I want to make sure they're all involved and I want to be able to monitor their learning in some way. Every student would have what we call a clicker, a device with multiple buttons on it, which correspond to possible answers. Nowadays people are using cell phones to do the same thing. The important thing is the individual there. They have to think individually, and they have to choose an answer. My computer records who they are, and what answer they choose, and I have a display showing how many chose which answer. Partly, this is useful guiding me as an instructor to see if everybody already knows something, so I don't need to waste time going over it, or nobody knows it and I need to spend a lot of time. But it also helps prepare them. The students have to think about this and commit to an answer that prepares them better for learning later. That later learning first starts by not showing them the answer. I have them have to talk to their neighbouring students about what the answer is and the reasons behind it. Then they have to use their clickers to revote. While they're doing those discussions, they'll take typically a few minutes, I'm going up and down the aisle listening in on those discussions. It's giving me a little picture of what's going on in those students' brains, so I can know they're thinking much better than I ever could just staring out at them or even any sort of test. And so that really helps me for subsequent teaching and feedback.

There's also real benefit in just talking to somebody from a learning perspective. A lot of times teachers, who don't know much about the science of learning thinking, may think this is just the stronger students giving the answer to the weaker students. But it's actually much more than that. We have lots of evidence where nobody in a group starts out with the right answer, and everybody comes up with the right answer in the end.

It's because there's a phenomenon that cognitive psychologists have studied a lot, which is the process of someone explaining something to someone else, or even thinking they're going to teach someone else, triggers a different kind of mental processing in the brain that actually is quite conducive to learning. So the mere process of talking to people actually supports learning in its own right.

Summarizing, they've had the discussion, I've listened in on it, and then I'll go and demonstrate what happens, show them the result, and then have a follow-up summary. I go over which models and reasoning was correct, and more importantly, what was incorrect and why. That's critically important for actually supporting learning, and it's a step which is very often neglected in traditional teaching. It seems like explaining the right answer is what matters most. So this is the basic process here.

Coming back to my example, the whole point was practicing thinking like a physicist in having to answer that question, articulate really, their conceptual model of how electricity works. They're having to test those conceptual models as to what it would be when the switch was closed. They have to test their reasoning through explaining it to their fellow students and critiquing the reasoning of their fellow students to decide if this was right. If you think about it, if you replace here some other real physics problem and not light bulbs, this idea of developing, testing conceptual models, critiquing, justifying, reasoning, and so on, that's exactly what physicists and all scientists in research spend much of their life actually doing. So this reviews practicing thinking like a scientist.

And while they're doing that, they're getting forms of feedback that can help them improve that thinking. They're getting it through their discussions from their fellow students and by comparing what they predicted with what actually happened. And finally, most importantly, they're getting it from me, the highly informed instructor of that thinking about their thinking.

Teaching this way still involves a bunch of instructor talking. So when I say, get rid of the lecture, I don't mean you should get rid of the role of the instructor and the instructor talking. If you look at the studies on this —there's a very famous one at Time for Telling—, they show that if you have students work on a problem like this and then you follow that



with the instructor explanation, and you compare that with having the instructor explanation first, standard way, and then have the students practice solving problems, there's a benefactor of 10 difference in the learning results.

A few years ago I started digging through specialized literature. I came up with about a thousand examples and undergraduate science and engineering where people had done controlled comparisons between student learning using the traditional lecture approach versus this scientific, research-based instruction. These show that the research-based teaching consistently shows greater learning and also lower failure and dropout rate. So it means more students are successful and they're learning more in the process.

First example here is one study that's looking at the learning from students who've successfully completed the first-semester course in university physics, where the concepts of force and motion are critical elements. The study's seeing how well those students can apply those in some simple new real-world situation, how well they can apply them the way a physicist would in terms of predicting what would happen in that situation. We have some good tests researchers have developed to prove this.

There is another study that I like because it involved a bunch of numbers, different instructors and many small sections. Using traditional lecture instruction, they scored all around .3 in this measure of physicists-like learning. Then they switched to scientific teaching based on what research would say and, basically, everybody jumped way up. There's now a small scatter around .6, about twice the learning that they were getting on average before. And so, the point that this

study and many others like it show is you can take the same instructors, they just take different teaching methods, and that's what determines the amount students learn. This means you can think of all different kinds of properties an instructor would have, but at the university level, what really determines their effectiveness is only —or overwhelmingly— the methods they use.

Another study was conducted applying this in computer science at the University of California, in San Diego. There were four instructors teaching the four introductory core courses there and they were teaching them using lectures, and then they switched to scientific teaching. They did almost exactly like the electricity example, but using computer science problems this time. They looked at the drop, particularly the failure rate, and across the board, all of that dramatically went down. As a result, they now have the same people teaching these courses but, since they've learned better methods doing it, they have about a third failure rate. So this is a very large number and students are now successfully pursuing majors in computer science.

In the next example we had two sections of a college physics course and we did a whole bunch of tests to make sure they really were identical. One was taught by an experienced professor lecturing, the other one by someone trained in this research-based teaching. They agreed to cover the same learning texts, the same amount of material, in the same one week of classes, and then they took this joint exam. In the experimental class design, they were told, whether they did or not, to do a little reading before class, and then in class, they were given questions to solve, work together in small groups, either using clickers or, on more mathematical things, writing stuff out on a worksheet. Then the

instructor discussion was really following, not preceding, working through the problems.

The difference is probably larger than you realize. You are shocked when you look at the results and realize how tiny the amount of learning was from the students going and listening to a standard lecture. I was also shocked at that when I was first getting into this, having trouble believing this research. I went and measured the learning from my own classes, tested students at the end and found out there was a tiny fraction learning it. In fact, this wasn't such a shock to me how small this was, but for everyone out there teaching by lectures, we need to realize how ineffective a use of everyone's time that actually is.

There is another thing I want to stress about this. A lot of times people first hear about it, they think maybe that's good for the weaker students, but the stronger students learn better from just listening to lectures. But what this shows is the entire distribution moves up. So this helps all students learn. And it's really because this is the way human brain learns that complex thinking, and they've all got student brains. We also monitored engagement. And no surprise, the traditional group here is much less engaged than the other group. I also want to stress that because in the modern world and in the modern classroom, unfortunately, students have so many ways to be distracted. They've all got cell phones that they can check and look at other things. They have computers that can surf the web. It's becoming a very serious problem. And it's particularly serious because one of the fundamental results of learning that we know is that as soon as the brain splits its attention between two different things, learning just goes away. So anything which the students are causing their attention to be split, no matter what else is happening, it's a terrible detriment to learning. And so anything you

can do to keep them more engaged, which this does, is going to be beneficial.

I'm just going to give one last example. The great majority of research on this has been done at the lower, first and second-year, courses. That's where most of the students are and most of the studies have been done. My group and a few others have started to apply these ideas to more advanced courses, particularly focusing on physics majors at upper level. In those, these are smaller classes but the same basic principles are applied. Students are working through problems and thinking while the instructors are facilitating that happening. It also works and there's a big improvement here that we see. I'll just give you a summary of what's going on in these classes, and that this is pretty much a basic idea of what we've seen, it is successful if you're teaching any subject, any level, and any class size. The details vary but, basically, the students have some initial preparation, then the instructor is developing the activities the students have to work through to produce something in the process. But they'll work in groups while the instructor's monitoring them, answering brief targeted questions. Then, at regular intervals, usually 10 minutes or even less, the instructor will —based on what he's hearing— bring the class together, have a whole class discussion explaining things where students are struggling, bringing everybody up to the same level, and then the students will continue back working through the next set of activities throughout the rest of class. And the two essential features that have to be built in —and the keys to making this effective learning— are the students are thinking and they're actively having to practice figuring things out, practicing the expert reasoning and decision-making you want them to learn. Instructors have to have various ways here that they can be very knowledgeable about that thinking of the

students, so they can change the teaching and the feedback they provide and, as a result, to be much more targeted and effective.

I've been going through all of this about how terrible lectures are, how the research shows they are ineffective. Many times someone, particularly someone who's is a faculty member at the university teaching this way for 20 years, says, "Lectures can't be that bad. Look at us university professors. We went through that kind of teaching and look at how successful we are". So I always answered that it's exactly that same reasoning that was used to justify why bloodletting was effective, and it was used on that basis for actually 2,000 years. It was also justified by those sorts of arguments. And the point that they're missing is they need to think about this scientifically. You test if something's effective by having a comparison group you can test it against. And so my answer to those faculty is, you only think you're successful. If you'd had better teaching, as a comparison group, you probably would have been much more successful than you are now. And those Nobel Prize winners, they probably would have won the Nobel Prize a lot earlier, maybe collected a few more in the process. So, more importantly, the fact is that some people can learn to do this by themselves and be reasonably effective, but many students can't, and if taught this way, many more students would actually learn to think scientifically and be more successful.

I've shown you these principles of learning implemented, how they're more effective, they clearly improve student learning. So then the question is, how do we change the tradition? How can we change the institutions to make this new, different kind of teaching the normal way people do things? This is what medicine faced in 1890. This is something that is primarily involved with people who run universities this is relevant to. And I'll just

say that I ran a very large scale experiment looking to try and change how multiple entire science departments teach at the University of British Columbia and Colorado, and I wrote a book on all of this stuff, so those who care can go read that book. We did change how several hundred instructors teach, with the great majority of science credit hours they actually teach to start employing this kind of methods. And some of the most important results we found from this experiment in changing institutions is, first, it is possible. We had several departments where essentially 90 plus percent of the faculty had made changes. A key step is to have the institution and the department recognize and support that teaching isn't something you just walk in and know how to do. There's real expertise in it. There's knowledge and there's methods. Just like there is in any form of science, to do it well, you have to learn what experts have learned about doing it, and that has to be recognized, and that has to be supported and faculty learn to do it that way.

But we also learned something else, a rather unexpected surprise, frankly. It takes faculty some time to train, about 50 hours, to learn to teach this way. But once they do learn it and once they've tried it, actually overwhelmingly, they greatly prefer it. And the ones we taught, they could have gone back to lecturing if they'd wanted to and essentially none of them have. And I've seen this more recently at the Standard Physics Department just in the last couple of years where about ten faculty members have changed their approach. They all say they'd all lectured on this material before and they say, "This is so much more rewarding. The students are so much more engaged. This is just more fun. I'm going to teach this way".

Finally, I'd say it was very clear that the institutions need a better way to evaluate

teaching. They were using student evaluations that don't really cover what's important about learning, covering about effective teaching at all. And they have all kinds of flaws to them. The lack of evaluation means that institutions don't really count teaching at all in their hiring and evaluation. What I am arguing for is that a much better way to evaluate university teaching is to look at the detailed practices being used and see to what extent is the instructor using the practices that research show are more effective for learning, in much the same way hospitals and doctors are evaluated just by looking if they are aware of and following the best practices that are coming out of research.

I had one final note pointing out one specific thing of learning that research shows how to teach in quite a different way and is intuitive. The normal way of presenting material is to explain, present the definitions, jargon, formalism, equations and so on, and then move on to show them how to solve problems. That automatically seems like the best way to do things, but it's true only if you're an expert already and so you have an organizational framework by which to receive and see where that information applies. If you're a student, you don't have that system. And so this information is just isolated pieces. You don't know what it's good for. You don't know how it links up, and you just try and memorize it as independent things. So, basically, you're very limited in how you can learn and it's also not motivating. The much more effective way is what I talked about, first giving the student a problem or the right structure that they work on to prepare them to learn, and also be more motivated to learn. As I mentioned before, studies show that this produces an enormous difference actually among them.

This scientific approach to teaching learning is giving us new insights and new

Bio



CARL WIEMAN

Físico estadounidense nacido en Oregón, obtuvo el doctorado en Física en 1977 en la Universidad de Stanford (California). En el momento de la concesión del Premio Nobel era profesor en la Universidad de Colorado en Boulder.

Compartió el galardón con Eric A. Cornell, miembro de su equipo investigador, y con el alemán Wolfgang Ketterle, que trabajaba independientemente con su propio equipo en el MIT, "por conseguir la condensación Bose-Einstein (BEC) en un gas diluido de átomos de sodio y por el estudio fundamental de las propiedades de los condensados".

Una vez conseguido el máximo galardón, sabedor de que le iba a resultar "muy complejo acceder a más" en Física (tan solo John Bardeen ha conseguido dos premios Nobel en Física), Wieman decidió dedicarse a la docencia.

data on what really are effective teaching and learning at the university science level, giving us better ways to teach and better ways to evaluate teaching. These have been broadly adopted and have the potential, like other areas of science that have changed our lives, to dramatically improve education and learning across our society. But it's not easy if you want to change how people are doing something for the last 500 years.



CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA:

teoría y política europea más allá del "reparto de carga"

Por MICHAEL GRUBB
University College London



Durante más de un cuarto de siglo la mayoría de los economistas han considerado el cambio climático como un problema de "externalidad global". Esto implica que los desafíos clave serán implementar un precio para el carbono y afrontar el problema de la acción colectiva, en especial, el reparto de los esfuerzos en presencia de incentivos a comportamientos de usuario gratuito y a la fuga de carbono de unos países a otros. Los avances teóricos, la realidad empírica, el lento avance de los precios del carbono y la naturaleza de los acuerdos internacionales ponen en cuestión esta aproximación al problema.

Esta conferencia, organizada en colaboración con la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales, AERNA, establece una perspectiva ampliada que destaca el papel central de la innovación inducida, las diversas formas de cobeneficios, la gestión de riesgos financieros y estratégicos y los potenciales efectos indirectos internacionales positivos. Basándose en los desarrollos de los últimos años, incluida la revolución tecnológica en energías renovables y vehículos, el marco teórico "Three Domains" del libro del ponente Planetary Economics y los recientes desarrollos en modelización, la ponencia ofrece una visión más positiva del potencial y las rutas para resolver el problema energía-cambio climático.

There has been an extraordinary growth in solar energy installations. I mean, nobody, not me, not enthusiasts, not even Greenpeace, ever believed we would have this much solar energy in such a short space of time

I have been working on climate change for almost 30 years, which is a scary thought in several ways. Not only personally, but because we have not made as much progress as we should in terms of tackling this problem in particular. I come at it with a mixed background. Most people think of me as an economist except, perhaps, for the real economists. I actually started life in physics. From the physical point of view, the science of climate change is simple. We know certain gases trap heat. We know that we emit about 40 billion tons of them per year and that most of that stays in the atmosphere. How could it not warm the planet? That bit is simple. The interesting issues are, of course, what it does to our climate and our weather systems — when and how severe are these effects, the timescales, etc.—, because the Earth is very complicated and there is a lot of room for skepticism. My puzzle has always been that we do not know well what we are doing to the planet. That does not actually make me feel much better about doing it. I think it is probably fair to say that, in 30 years, the scientific evidence will prove that some of those early projections were surprisingly accurate. I was quite skeptical of that. Not about the basic science, but about how things would unfold. We certainly see global temperature trends and many of the specific impacts not unlike what scientists have projected. And, of course, there is a lot of inertia going forward.

I think there is very little doubt, amongst people who looked at it seriously, that this is

one of the great challenges of the century. I published a book four years ago, which was an attempt to sit back and spend a bit of time, out of this very busy life, to think about why this is so hard. We have known that this is a problem for a quarter of a century. Why have we made relatively little progress? And this brings me to this, perhaps very strange, title: Different, Therefore Equal. Can something be better than something else if it is fundamentally different? That is deliberately explicit and provocative, while framing a question that relates to what still most economists would say: "There is one policy instrument that is better than anything else. We have a problem with carbon, and we have market economies, so we need to put a price on it. Then the market can solve the problem because you make pollution more expensive, other things become cheaper, and everyone has an incentive to do better, which is a lot better than governments trying to tell you what to do". I want to prove that, and to do so in a way that will illuminate the wider themes and link them to European policy-making to talk about what I call the three pillars of policy. Then, I want to get into some interesting and exciting developments, but also controversial ones, in renewable energy. And finally, I want to say a little about an integrated perspective, and hopefully to provide some ideas for the economists about whether there are things here to probe and take forward.

Let me start with a quite standard concept in economics. As economists, we really



like graphs and numbers because they give precision to the ideas. The idea is that our economy needs to use some form of resources. That can be energy, like fossil fuels, it can be the ability to resolve emissions, or millions of other resources. And we want to get economic output from it: welfare, consumption or however you choose to define it. We want to use resources to produce what we want, to make us happier. Within that framework, we have something that often would be drawn as a straight line, some kind of frontier usually defined by technologies which turn resources into welfare or into output. And there is a trade-off here. We might want to reduce energy or emissions. But generally, we will not be quite as rich, or quite as well-off, or quite as happy. Things will be tougher or maybe more expensive. We will lose some welfare by being forced to reduce emissions if you just look at it that way. But the question is: why would we want to reduce emissions? The numbers here are telling a lie because they are not taking account the fact that emissions will harm us.

We might use more energy and emissions, but we will not be as well as we think because of the damage it imposes. In the context of energy and climate change, there is a real cost to emitting more, which means that we will not be as well-off as we think we would be. That is, broadly, what an economist would call the external damage, external because when we emit, we do not pay for it, but somebody eventually does. Therefore, the economist prescription would be: we need to put a price on these emissions, and that will make the pollution more expensive, it will make cleaner things more competitive, the market will respond, and that will bring emissions down. All of that is right and important, but I want to take it further.

Many economists, business, and other people, say that pricing carbon emissions is the most efficient and cost-effective tool. They say so because it basically creates a general incentive, in the classic way, and we think that markets can be very efficient —allocating

Price, time and market size determine the relationship between upfront technology investment and its potential benefits

resources and choices, and matching costs and prices—, so you just have to tax pollution. And that is true, but it is incomplete, and it is importantly incomplete. Just to ram home the point, an environmental group also said: "The prescription is simple: price carbon and get out of the way. It is simple, and it works". And I wish that was true, but it is not so simple.

We have a huge amount of economic debate on how costly emissions are. There was an important Commission, which said: "Probably the best estimate to the damage from climate change is worth between \$40 and \$80 per ton of CO₂". For reference, that would drive up your electricity costs significantly, your driving costs somewhat less, but still enough to notice, and would change various other aspects of energy economics. I am deliberately not being precise here. For the moment, that is not the point. The point is: we say that we need the carbon price to reflect that damage, so we need the carbon price to be at that level. But frankly, economists have been providing figures in this scale for 30 years and we are not even close to such pricing.

For example, President Trump appointed a chief of the Environmental Protection Agency, a horrible character called Pruitt, if I can be blunt. They said: "We do not believe these numbers. We think the climate damage, well, it might exist". Interestingly, when President Trump repealed the Clean Air Act from Obama, they had to use legal grounds in Congress to argue why this was the right thing to do. They did not challenge the science. They said: "Oh, the damage has all been much

less than the Obama administration said. It will not be 40, it will be \$1 or \$2 per ton". And they did that basically by saying: "It is a very long-term issue, and we do not think we should care about the future very much". That is what an economist would call a higher rate of discount. I am not exaggerating. They said American citizens should only be responsible to protect American citizens. The US should not care about impacts on other countries. And it is very hard to solve a problem that way. But the fact is, in terms of putting a price on carbon, that after 30 years of debate the global average price that governments have imposed is around \$1, which is not enough to change anything. This is kind of depressing for those who say this is the thing we must do.

I will explain why I bother to stress this. It might sound a bit different at first, but it relates to how you define the target, which is what you are trying to achieve in policy terms. The European Commission has set a structure for goals in 2020. It says that Europe should cut its emissions by 20%, it should have 20% renewable energy penetration, and it should improve its energy efficiency by 20%. There was actually a fourth point we tend to talk a lot less about, which is interconnection to improve energy flows. I know quite a few economists who said that having multiple targets is absurd because it is incredibly inefficient for governments. And so, some of them say that you should only focus on the goal of reducing emissions and allow the market to do the rest. That is the most cost-efficient way. Someone even said that the three-targets approach was madness, economic madness. So, the European Union



listened very carefully, thought about this and, when it came to setting goals for 2030, the numbers went up. There was more ambition. So, the question was: was the EU dumb and not listening? or was the European policy capturing rather important things that have often been overlooked by Economics? And that is the question that I now want to really focus on, to develop the theory of.

Let me return to the tradeoff that everyone has to make. More resources, more output. Constrain your resources, you will be worse-off. That is true if you assume that we are all actually optimizing and trying to get the best out of all of the options available. Interestingly, there is almost no empirical evidence that that is how human beings or societies behave. Not many people know what their energy use is. Not many people know the cost of making their building more efficient, and how much money it would save. Actually, we are creatures of habit, and there is a lot of behavioral economics now to prove this point: economists have finally discovered psychology. This is a big deal, and it has consistently proved that most people,

organizations, and countries behave like that. So I just said: "There is a whole world of broadly real-world individually and behavioral decision-making." To avoid other stuff, I will call it the "first domain". Economists actually tend to call it "satisficing behavior" because somehow people seem to be satisfied with not optimizing. But if you start with that, then you have got the whole body of theory around telling you that when entities actually do focus on costs and benefits and try to get the best out of it, that is, optimizing behavior. The interesting thing is, of course, that the technology frontier moves. It does not just sit there. We do not have the same options that we had 50 or 100 years ago. We have got far better options and we really want to know if we can get more out of less in the future. And that will depend upon technology, infrastructure, and other things, like the business, as usual. For example, we have seen loads of investment in oil shales in Canada, which is, basically, a huge investment in how on earth we can mess up the atmosphere a lot more cheaply. That is what businesses' usual innovation was. It basically said: "We are going to be able to get a lot more out for a bit

Climate change is just about mutual processes over different scales. There are very few problems in the world which are simultaneously spanning frankly the inattentive decision-making of seven billion people

more energy in the future. But we want to go in this direction". So, we are now in the world of saying: "How will the technologies and systems evolve over time?" That is a different question from saying: "What is our trade-off on this frontier?"

We are not stuck on this

Technologies and systems will improve. But what is the science of transformation of our technologies and systems? That gets really important. It may be that one way is: we put a heavy carbon price on and force things down, and then the market will innovate because we have made it pretty expensive to do anything else. But maybe we can get smarter and accelerate innovation in desirable directions, in ways which are environmentally and economically attractive. So, to be really clear, in this framework — it is kind of simple, but it still seems to be quite interesting— what we are looking at is not a debate between people who believe in classical economics and those who do not. I think that this is a very boring debate. It is actually saying: "What is the role of classical economics, which is based on certain sets of assumptions that work well in some cases and not so well in others? What is the role of the behavioral economy? What is the role of the evolutionary and institutional processes that can change the whole structure of what may be possible in the future?" And this is not an argument about which of these is right, most of all because, when you really look at it, you are looking at processes

that occur at different time horizons. Psychologists ask people in the lab: "Do you want one sweet today or two in a week?" And guess what a lot of people choose... Think about energy efficiency in these terms, for example. We know that people could get their money back in a year by improving energy efficiency. Generally, markets work best at time horizons of a couple of years or, maybe a couple of decades, not more. These processes are looking at how systems and technologies change over decades. And socially as well. Some aspects tend to be individuals or small decision units. Some to be larger companies doing their planning and calculations. And others tend to be looking at the diffusion of technologies over decades. So that is the sort of analytic and theoretical basis of what, simply said, are the three domains that need to be dealt with.

There is absolutely no basis to affirm that, a society left to itself, will achieve optimal types of behavior and optimal levels of innovation. There is a big divergence between private and public gains, which is why a market will not deliver optimally on those things. And you discover that progress often is largely irreversible. The costs are often transitional. They are not zero, but they are largely irreversible. And when I say irreversible it is because, frankly, if you get more efficient, why would you go backwards? I insulated my house in London about 15 years ago. It was quite a bit of hassle and a bit of cost. Energy prices could go down to zero, and I will not

take the insulation out because it would be dumb. Similarly, we developed a lot of smart technologies in the last 15 years. Why would we go and forget them, even if energy became very cheap? Indeed, it became cheap partly because of that progress. It is a dynamic system. So, the whole game is: how does this thing evolve? and what shapes its evolution?

This is what brings me onto the three things to be done, the three pillars of policy. I reckon that the key is to accept that you actually have these different processes. That means that the best policy depends on whether it is really relevant to the kind of behavior you are influencing. You are dealing with optimizing market agents and people thinking about costs and benefits, then sure, changing the relative prices with a carbon price will be highly relevant and potentially effective. If you do it, it will do other things as well. You get a load of people who are wasting energy totally. If you raise the carbon and energy price a lot, they may suddenly take notice about how much energy they are wasting and become more efficient. They will probably vote you out of office first, though, because they do not like paying higher prices and it can take a long time to adjust. When you are dealing with this kind of behavior, often it is more effective to have just straightforward energy efficiency standards or to engage people. Say: "Do you realize how much energy and money you are wasting, at the same time as polluting more than you need to?" There is a lot of evidence around the effectiveness of those approaches in the right way. Similarly, if we are trying to transform a whole system, then you need strategic investment, which I defined to an economist as an investment that has greater public returns, greater benefits to the public than any private entity could sensibly gain. And there are a lot of them. You could start with education, roads, infrastructure, and various forms of innovation. Economists talk

about spillovers in innovation, but it is more than that, as I hope to show.

What that implies is that you have a very logical basis, based on these three domains, to want multiple pillars of policy and potentially associated targets. First, whatever the economics community has said, that markets and carbon pricing is the efficient thing to do, I have not found any country anywhere that has just said: "Well, that is all we will do, then". All have actually done some stuff around each of these three pillars. That goes for the UK, which prides itself on being a very market-oriented economy, and Germany, which may be a little different. We all have European product standards, which generally have high economic and environmental value. The UK has pursued energy efficiency domestically with more emphasis on cost efficiency and market methods. Germany tends to emphasize more the strategic imperative, so the government sets heavy standards for deep energy efficiency when it improves buildings. We have got a European carbon-pricing instrument called the EU ETS. The UK has said: "We really believe in markets and it has shored up the price to have a higher carbon price". In the German strategy, this has been a bit peripheral compared with other things. Both had programs on renewable energy, the UK rather more reluctantly and more slowly. Germany really drove it and said: "Renewable energy is the answer. We are going to do it at scale and drive the whole thing".

There are different outcomes

For example, over the last 10 years the UK coal consumption in our power generation has collapsed. This happened partly because we had a bit of a carbon price and it went down. Then Britain introduced a floor price, got higher carbon prices, and the energy electricity industry said it was really not

worth running coal plants anymore. It is cheaper to run gas. But also, we had some convergence in prices. We had electricity demand going down, not up, so there was more space to take coal out of the system, and we had rapidly rising renewable energy. So, once we put the economics to say it is better to run your gas plants, there was very little space left for the coal. Britain used to be called an island of coal in a sea of gas only 25 years ago. 25 years ago, our power system was 80% coal. Two years ago, we had the first hours without any coal generation. Last year, we had the first day without coal generation for a century. UK emissions are now down close to where they were 100 years ago. And that is impressive progress.

In Germany there are some very different views. Only four years ago, you could read in *The Economist*: "Solar power is by far the most expensive way of reducing carbon emissions. It is not only blinkered, but also incredibly expensive. Solar power in Germany makes as much sense as growing pineapples in Alaska". Actually, what happened is Germany pursued solar, whatever the cost was, and the cost turned out to plummet. Of course, *The Economist* data was a long way out of date. Solar costs have come down fantastically and so have battery costs for other reasons. It is certainly now cheaper to generate electricity from solar cells in many parts of the world than to build a new coal plant. Coal plants are going out of business because it is actually cheaper to build solar cells than to even run coal plants. If that is not a transformation, when you think that four-fifths of the world's population lives in very sunny regions, I do not know what it is. What was going on here? You have a technology chain, basic research and development. The Japanese did a lot of that as well. Then, you need to demonstrate, to commercialize, to accumulate markets, and then you have to

diffuse the new technology. And all this stuff involves learning how to do it better, taking advantage of economies of scale, delivering the service, improving the technology, getting consumers, getting businesses, getting supply chains... everything goes along with that.

There has been an extraordinary growth in solar energy installations. I mean, nobody, not me, not enthusiasts, not even Greenpeace, ever believed we would have this much solar energy in such a short space of time. There has been a remarkable rate of expansion and cost reduction, driven almost entirely by two countries, Japan and Germany. Germany dominated since 2004 in that investment. It is kind of interesting to think how you evaluate this from an economist' point of view, that is, assessing what the costs and the benefits are. It all depends on what you think you are trying to measure. If you say carbon was never a problem, and almost certainly it did not really make sense for Germany, it has not been cheap. But if you acknowledge the global problem, there is a fair chance that the balance is positive even for Germany, even though they invested vastly in developing the industries, and it is massively positive globally. So be careful about what you measure when you talk about costs and benefits of technology transformation programs. To my mind, the bottom line is: no, this was not growing pineapples in Alaska. It was planting photovoltaics in the most fertile soil for a country that had the industrial capacity, the financial structures, and the political determination to forge an industrial revolution. That is what they have done, and that is a different kind of economics. This is not equilibrium optimizing economics. This is: we are going to crack this problem and to generate a new technology that can solve a global problem.

Price, time and market size determine the relationship between upfront technology

investment and its potential benefits. It is all about whether and how that technology frontier will move to bring down costs and create new options and, ultimately, the benefits will be dominated by that long-term goal. That could not possibly have been achieved just by trying to put a carbon price on. That would have driven German industry out of business generally. This is just politically unworkable and, I would argue, also inefficient. So, the German experience is absolutely a case for technology deployment policies.

So where does this leave me? First of all, even just taking that comparison I did between the UK and Germany, both have done stuff and they have turned out rather different stuff. I am not sure which is best. And I am not even sure that this would be the right question. UK has certainly delivered more emission reductions more cheaply, but it looks bit harder to achieve further progress because we have done the easy stuff. Germany assumed higher costs and has been hugely criticized because their emissions did not go down very much. That is because the Greens that drove renewable energy, hated nuclear energy even more than they hated coal, and so you have had renewable energy displacing nuclear and emissions did not drop very much. However, you now have the new German commission for a climate law on coal phase-out. I have every confidence they will do it. It is just tough politics to be pursued further.

However, the thing that we have really missed in policy terms is how they can help each other. People do not like paying more for energy, and if all you do is price carbon, they kind of rebel and stop it. If you actually enhance energy efficiency, so people consume less, you can actually increase the price of energy, but people are not paying more because they are more efficient. If you have a carbon price, you are raising revenue for the government that

could spend on actually enhancing technology innovation, new industries and technologies, etc. You can quite easily map the virtuous circle in which these different instruments support each other. Pricing will also make more attention for consumers wanting to buy new efficient products because they know the price may go up, so they want to use less carbon, and so forth.

Climate change is just about mutual processes over different scales. There are very few problems in the world which are simultaneously spanning frankly the inattentive decision-making of seven billion people. Every human being on the planet contributes to the climate problem. How we actually behave really matters, whether we pay attention or not. But, at the same time, we are trying to transform some of the most complicated systems we have ever had on the planet. You just have to look at the structure of the fossil fuel industry, its infrastructure, and its technologies. It is reasonable to think how hard this is going to be to change, not because we are not smart enough in technology terms, but just because there is so much sunk capital and business interests in trying to defend the status quo. It is going to be a long transformation and we need all those things to happen simultaneously.

In my book, I basically said that there is an energy revolution already unfolding, and I presented the economics for understanding, explaining, and projecting where it could and should go. But now I have a bit of newer stuff, and here I am going to be a little blunt for the economics community, including some of the biggest names. Bill Nordhaus is one of them. He looked up this stuff around innovation, induced innovation, and learning by doing, which makes economists feel a bit queasy sometimes. It makes life much more complicated than just saying: "You have got

How do we think we can solve such a complicated problem when we want global action, but there is no global government to impose actions? This is a really important question

a nice fixed technology curve”. And he said: “Hang on. There are problems here. We do admit that costs have come down as the volume has gone up, but you would expect that. Maybe it is getting cheaper, so people are doing more. So, why do you claim that doing more drives the cost reductions?” Well, Bill, I have to say this happens for lots of very good reasons, which is every study that looked seriously at this question does detect causality between building up scale and cost reductions. You can measure a surge in private patents as the market grows. Kind of not surprising. If the market is big, it is worth investing more in research and development. And it is, frankly, commonsense learning by doing. Private sector has more resources, sales, economies of scale. Actually, this is an area where I find most people who are not economists say that it is obvious. Cost reductions and learning by doing. But it makes economics a hell of a lot more complicated for all kinds of reasons. And it makes modeling much more complicated. What Bill Nordhaus model does is to say: “Let us assume solar energy costs this much in 2019”. But to assume that we know all that is God-given is ridiculous. Of course, it will depend upon how industries evolve, how infrastructure and electric vehicles develop, and whether we have the infrastructure, etc. There are loads of evidence for that. The point to stress in this is —and here I go into the deeper dive on innovation processes—the solar story has to go through all of these stages.

For a few years, I was chief economist at

the Carbon Trusts, and my job was to help British business innovate. We actually did not bother with this. There were loads of great ideas around in universities. The problem was building businesses that could actually take these things forward, make them work, and make them reliable and attractive to consumers. So that was a lot of investment. You had to develop the organizations, the supply chains, the customer base, the standards, the financing, the market regulation, the institutional structures, and the physical infrastructure. In fact, hardly ever has technology developed in isolation from the institutional and infrastructure context. They go hand in hand. Technologies influence the policy and infrastructure that they need to be more effective. And that is what we see happening. The innovation process is a complicated journey. It does not reduce to throwing a bit of money into R&D and then, in 20 years, everything becomes cheap and easy.

A few months ago, I was asked to give a talk to the Institute of New Economic Thought. The session would be called Climate Denial and I told them I would talk the other denial because there is so much modeling. They agreed because they thought this innovation stuff was too complicated and it was better to ignore it. But ignoring a fact means that you do not learn. They said that they would just project what the future technology costs would be. And some would say that it makes sense to wait until things are cheaper, but if you wait forever for things to be cheaper,

they might not get cheaper because you have not made the investments. I think assuming something is zero is not an acceptable approximation to something that we know is positive and important, like learning by doing. There has been, I think, some really interesting research on how to build this into models and policy. And it also stresses it is not just the innovation. There is a lot of inertia in the system. Changing is not easy. The investments are not cheap. You need to think about the dynamics, the innovation, the learning, and the pathways.

There is evidence that stresses the bigger picture. Basically, when we take some data to see how much countries spend on energy, the results are surprising. I will summarize them. This data has one simple bottom line, which is: countries with higher energy prices do not spend more on energy. Think about that. Raise prices tomorrow, you will spend more on energy. But given a few decades, the evidence is that countries like Japan, maybe Spain, certainly some of the others that have had double US energy prices, spend the same proportion of GDP on energy. The reason is that they are twice as efficient. That is what the long-run impact of higher prices can facilitate. It is not just direct prices. It is all the indirect stuff that has gone along with it, like government efficiency programs and so forth. Whereas, the countries that subsidized energy, saying that cheap energy is really good for development, like Eastern Europe, have had total disaster as they ran out of money to fund these subsidies. They tried to marketize prices, and they ended up spending more than anybody in energy. Subsidizing energy to keep it cheap is disastrous in energy terms and environmental terms.

I did some modeling and factored in some unusual elements to do with the dynamics of this process. They basically said its costs

depend on how fast you try and cut emissions as it does upon how much. From that, you can build actually a rather simple model. The cost at a given point in time is going to depend upon how much I cut emissions back. If you squared—that is a very common assumption—, having to cut emissions by twice as much, it will be four times as expensive. Then I added another element, it depends on how fast you do it. The result is a slightly complicated equation, but the simple thing in it is—here is the underlying equation—we have now got a thing that has a potential to model adaptability, which we call for various reasons “pliability of the system”. This term refers to the capacity of the system to evolve in a certain way, and then be happy with where it ended up. The inertia will cost you if you leave everything until late and then have to move fast. And the same happens with the learning caused by your investment.

The classical economic structure, including Bill Nordhaus' DICE model, which is used widely, completely ignores that dynamic component. The cost only depends upon how far you were from whatever you thought the baseline was going to be in 50 years' time. The direct opposite assumption would be when you have a really adaptive system. You need to spend money on changing things but, once you have changed them, you do not have an enduring cost. What this says, logically and conceptually, is we do not know what the future holds, but we are inventive, so we can probably develop a low-carbon economy. And there is no reason to think that it will end up costing more than a high-carbon economy. For a high-carbon economy, we still have to go and dig out a hell of a lot of coal, and oil, and stuff, and that is not free. So, in the long run, we are kind of indifferent. It is a question of what way do we want to steer the ship in. I did once hand this paper to an economist colleague of mine and she said she did not

understand it. This reminded me how unusual this is in economic concept terms. But I think we do have many adaptive systems. There is actually quite a lot of optimism about our ability to solve climate change and to pay a moderate price to solve them, because that is the cost-effective thing to do. Providing that you do this, you keep discovering new ways to cut emissions to deal with more difficult sectors and eventually, you get to zero emissions. Which is what the Paris agreement says. This is an economic cost-benefit analysis, which says that zero emissions could be perfectly optimal if the systems are adaptable. This is a standard model result, in which you start with a somewhat modest investment, maybe \$300 billion a year, and it will increase as the climate problem hits harder and you need to work harder, and your damages are going up. Then you end up at the end of the century having to spend this much to try and cut back your energy system, and this much to deal with climate impact. If the system is adaptive, you make twice as much effort at the beginning because you are buying yourself a whole pathway, and then you can gradually ease off as the technologies and systems adapt. That has nothing to do with changing any assumption about climate change at all. It is simply saying: "Is my system pliable or not?"

How do we think we can solve such a complicated problem when we want global action, but there is no global government to impose actions? This is a really important question. A lot of economists have spent much time discussing it and frequently come out quite pessimistic about the possible outcomes. I cannot dwell on this, but I just want to offer some observations. We will find out in a few decades how bad climate damage is, how bad it gets, and how does that affect incentives. And I think that when we use the term learning, we need to become more

expressive. Are we talking about learning about climate impact? or learning about emissions mitigation? Are we talking about learning by waiting to see what hits us? Or, if we do nothing to cut emissions, maybe we learn by importing cleaner technologies that others produced. Or are we talking about learning by research into the climate system? Or learning by research and development on technologies? Are we talking about learning the effect of climate impact the hard way? Because by the time we find out, it may be too late to do much about some of them. Or are we thinking in learning by doing along the way by implementing incremental but, ultimately, very powerful improvements in technologies, systems, infrastructure? And finally, what does that do to the dynamics of developing a global solution? And that, to me, is a frontier research question.

There is now some modeling that says that, when you factor in this kind of economics, you can produce credible scenarios in which countries that act on their mission mitigation do not end up worse-off economically because they, effectively, are making investments for future returns. For the last 25 years we assumed that climate change is basically a burden-sharing problem. That is how an economist would call it. We say: we are responsible people and we should take some burden on our shoulders so as not to hurt future generations in other countries. And this point of view has proved politically difficult to sustain. That is what Europe tried to do with the Kyoto Protocol. And basically, the US said it was not going to play. Then Japan said it was not going to play if China did not, so it became too small to really work. But if you define a new game, based on investment and returns, that is a different game. The issues would be now: How can I be smart about this? How can I tap multiple benefits, clean air, clean vehicles, technology, innovation, supply

chain? How much do I need to invest? Can I afford all that investment? Do I want to team up with other countries? Do I want to create a club of countries that agree on rules on zero tariffs for clean goods, that agree on rules on high tariffs for polluting goods?

I used to do more research in, what economists call, border adjustments. It tends to make trade people nervous, but I think it really should not. It is basically saying that, if there is pollution, it should be paid for. That is not a distortion. That is actually good economics. The challenge is how you do it. And so, supposing that the club of countries agreed on how they would treat steel and cement and other carbon-intensive stuff and the carbon costs, and some of them say: "Hey, we have attached it at home". Then the other countries in the club say: "Okay, we would not charge it then". But if you were not in the club, they would say: "Sorry. You are not in this club. We have got no evidence that you have put a carbon price on anything we consume. We are going to charge the full carbon price that should be paid". Then you really start to create the incentives to say: "Our consumers will pay. Fair enough. But they are not going to pay in ways that our industries suffer compared with your industries. In fact, probably because you are not acting, your industry will be less efficient. So, you are going to suffer more in our markets even though we are treating people effectively on the same principle which is carbon should be paid for". And that winds me right back to my starting point, to stress that nothing I said is against carbon pricing. It just says the problem is even bigger and more complicated, but also more hopeful if we bring all these different instruments to bear and drive it as a transformational problem, rather than a burden-sharing problem. And that, ultimately, is what leads me to be at least a touch optimistic about solving it.

Bio



MICHAEL GRUBB

Es profesor de Energía y Cambio Climático en University College of London, Institute of Sustainable Resources, trabajando estrechamente también con UCL Energy Institute. Entre 2011-2016, junto con los roles académicos, trabajó a tiempo parcial en la Oficina de Mercados de Gas y Electricidad del Reino Unido (el regulador de energía, Ofgem) como Asesor Principal, y ahora preside el Panel de Expertos Técnicos del Gobierno del Reino Unido sobre Reforma del Mercado Eléctrico. El profesor Grubb fundó la revista *Climate Policy* y formó parte del Comité de Cambio Climático del Reino Unido, establecido bajo la Ley de Cambio Climático del Reino Unido para asesorar al gobierno sobre los futuros presupuestos de carbono e informar al Parlamento sobre su implementación.

Michael Grubb es autor de ocho libros, sesenta artículos de investigación de revistas y muchas otras publicaciones. Su libro *Planetary Economics* reúne las lecciones de 25 años de investigación e implementación de políticas energéticas y climáticas, con una traducción completa al chino publicada el año pasado. Ha recibido un gran reconocimiento como una contribución "seminal", "integral y profundamente importante" por su desarrollo de un marco de teoría económica más amplio, y su aplicación a las políticas prácticas para hacer frente a los desafíos de la energía y el cambio climático.



*Desde bastidores
al centro de la escena:*

LAS MUJERES EN LA HISTORIA ECONÓMICA

Por JANE HUMPHRIES

Universidad de Oxford



Hasta hace poco, las mujeres y los niños han sido suprimidos en la historia económica dominante, en contraste con los enfoques tradicionales que a menudo eran más inclusivos y sensibles al género. Su trabajo y sus condiciones de vida raramente aparecían en las estimaciones de crecimiento económico, cambio estructural y evolución del nivel de vida, sino que se calibraban en relación a los de los trabajadores varones, los salarios de los hombres y las familias tradicionales a cargo de los varones.

Esto a pesar de que una historia económica en la que no figuran las mujeres y los niños es sin duda incompleta y probablemente incorrecta, dado que ambos conformaban entre un sesenta y setenta por ciento de la población. Esto está cambiando. Las mujeres y los niños se han convertido en actores clave, sacados de los bastidores de la historia económica, no por el creciente volumen de evidencia empírica sobre sus roles económicos, sino por la aparición de nuevas corrientes en las que por suerte juegan un papel estelar.

La profesora Humphries explora estos temas en el contexto del desarrollo económico británico, con alguna referencia a España. Su charla constituyó la décimoctava conferencia Figuerola programada en colaboración con Instituto Figuerola de Historia y Ciencias Sociales de la Universidad Carlos III de Madrid.

Economic history is about men. Men are the producers, the consumers, the wealth creators, and women's productive contributions have by and large been overlooked and neglected

Economic history is about men. Men are the producers, the consumers, the wealth creators, and women's productive contributions have by and large been overlooked and neglected. In my view, this means that some of our understanding of economic change is misguided. However, it seems things have changed. We might think that it's the battering ram of empirical evidence that has brought women to the centre stage. There has been a serious amount of work done on the role of women in the economy and Spanish authors have been to the forefront in this endeavour. These Spanish authors have produced case studies, rescued accounts of women's work from original sources, and challenged official accounts, which systematically underestimate that productive contribution. They are in the vanguard in challenging economic historians' account of the evolution of European economies that leaves women out.

The Spanish evidence has produced some very striking findings. Now we know for sure that official sources systematically undercount women workers. We have also learned that historical sources, often difficult to interpret, can be used to construct alternative estimates of female participation rates of where women worked, their sectorial distributions, and their wages, what they managed to contribute to their families. These suggest a revised picture of women's productive contributions where, very often, supply-side factors like those we emphasize in understanding female participation rates today, like marital status and number of children, do not actually

time travel very effectively. In the Spanish evidence, demand emerges as a very crucial factor. Where there was a demand for women's work, women, in fact, did work. This changes our understanding of the periodization of economic growth, how structural change happened and when it happened, and what happened to families' well-being over time.

Having these empirical studies really caused us to change our mainstream accounts of national economic growth. It has changed the stories we tell our students about how economies changed and developed. And let me just say that bringing these empirical studies into the mainstream is a very difficult thing to do. I want to applaud my colleague and co-author, Carmen Sarasúa, who has a paper forthcoming in the *Economic History Review*, which actually tries to take her detailed empirical work into a mainstream account of Spanish economic growth. Again, this is very difficult to do, and in fact, by large, a lot of this work remains isolated in a ghetto of gender history—it has not really made its mark on our mainstream accounts of economic development yet.

What has brought women from the wings to centre stage have been a series of big think stories, new theoretical accounts of economic growth. The first one is the Industrious Revolution story. This is an interpretation of European economic growth associated with the name of Jan De Vries. He argued that before the Industrial Revolution, there was an Industrious Revolution in which

a preference switch took place. Families moved away from enjoying leisure to working harder in order to acquire the income to buy new and attractive goods that were coming on stream in the late 17th and early 18th centuries. It was these new products, new fabrics, but also tropical groceries, tobacco, sugar, tea, and coffee that persuaded these households to reallocate their labour time to production for the market, and women were at the heart of that reallocation. It was women who wanted many of these new goods and who reallocated their labour time from the home to paid work in order to boost family incomes and acquire these new commodities. De Vries argued that this Industrious Revolution kick-started the processes of economic growth that led into modern economic growth, where countries can in fact expect to grow from generation to generation.

But there are other theories too, which have brought women from the wings of economic history into the centre of mainstream stories. Another account involves unified growth theory, an attempt to try and see the escape from Malthusian stagnation into modern economic growth. It required, in fact, a move from a large number of children to a small number of high-quality children. Again, women play a key role in making this change. The northern European marriage pattern also puts women at the centre stage. In this theoretical account, it is teenaged women, who could earn high salaries as servants, who in fact decided to marry later. In this way, they enabled higher incomes and greater investment in children and so a new higher growth rate to be achieved, particularly in Holland and England.



Most important has been Professor Robert Allen's high-wage economy account, whereby it was the high wages of workers which persuaded entrepreneurs, businessmen, and manufacturers to introduce mechanical methods of production. Since the spinning jenny was one of professor Allen's macro-inventions, the high wages of women spinners became critical in this account. It was women spinners high wages which persuaded manufacturers to mechanize spinning and so to put the textile industry into a new phase of factory production. So it was these metanarratives that brought women into the mainstream of economic history.

I have to say that some of these big-picture

stories are not really that well-grounded in empirical evidence. They aren't linked up very effectively with some of that deep archival research that I mentioned that has in fact been compiled by gender historians. But these metanarratives have led to an explosion in studies of wages. In the past, these wage studies focused only on men's wages. But these new accounts require attention to be given to the wages of women because women and their wages figured serendipitously, but nonetheless importantly, in these macroeconomic theories.

I want to turn our attention from wages themselves —nominal wages—, to thinking about how we measure real wages — what people could actually purchase with their wages. And we have a way of doing this through a representative basket of commodities. This is how economies handle the cost-of-living question. They would need to ask how many baskets of these commodities, that make up living standards, a wage could buy. What standard of living could a wage support? Then we look at the price changes of the commodities that are included in the consumption baskets and weight the price changes by the relative proportions. This is standard economics. Robert Allen has done a great service to economic history by defining two historical cost-of-living indicators or standard baskets. One is a physiological minimum which he calls, very graphically, the bare bones basket. It's what will reduce you to bare bones but still manage to keep you going. But the other basket is more interesting and it's a respectability basket. Can a worker's wage buy this basket and secure for them a respectable and desirable standard-of-living?

Economists, even working with modern data, face very severe problems when using baskets to construct standard-of-living indexes and therefore measure real wages.

There are obvious problems here: what goods to include in the baskets, what prices to use, what budget shares. How can new goods that appear in people's consumption over time be included in the baskets? And what about substitution? When prices of some goods rise, workers will move away from those goods and substitute by other cheaper commodities within the consumption bundle. These problems are deepened and exacerbated when we're looking at the past and over long periods of time. They're particularly difficult when we consider some of those big theories that I mentioned before.

Robert Allen's respectability basket includes a series of commodities, the quantities of the commodities that are included, and the calories of the foodstuffs which bulk large in these historical baskets. People mainly spent their income on food and this respectability basket will yield us something like 2,500 calories. And that's why the basket's being criticized. We might, for instance, not think 2,500 calories is adequate for the kinds of physical tasks that people were doing historically. We might also wonder about what a medieval peasant enjoyed lamp oil, for example. And of course, where is the space here for those new goods, the tropical groceries or the nice fabrics that feature so significantly in Jan de Vries's *Industrious Revolution*? This illustrates some of the great difficulties we have in using economist ways of going from nominal money wages to living standards historically. It's very tricky. Many of the problems I've emphasized have particular difficult implications for those grand theories that we looked at.

But there's another serious problem and it's one of the most difficult standing problems concerning women's economic roles. Who turns the foodstuffs into meals? Who makes the lamp oil yield illumination? Who uses



that salt to produce cleanliness and comfort? It's the social reproduction question. It's the unpaid domestic work question. It's the valuing women's unpaid work. Wages for housework, it tended to be called in the 1970s. And it's a long-standing problem. Economists have long known that it is an anomaly to leave out of national income accounts this large amount of productive but unpaid in the market work. But it's left out of classical political economy. It's left out of neo-classical economics. It's left out of national accounting.

There were obvious comments about the anomaly that this represents. Pigou, a famous British political economist, pointed out that if he married his housekeeper, national income would fall. It's ridiculous. But it's what would happen because she would no longer be waged because she would be his wife. Even though she'd be doing exactly the same thing and producing exactly the same commodities. Kuznets, who's the father of national income accounting internationally, fell out with the United Nations because he believed that there

should be greater effort put into including unpaid domestic work in national accounts. There have been early efforts trying to value women's work and include it in national accounts imputing the value of women's unpaid domestic work from the kind of wages they would receive in the market. From, for instance, taking maids' wages as an indicator of what unpaid domestic work was valued at.

Another well known Spanish writer, Lourdes Beneria, a development economist resident in Madrid, has referred to this as The Enduring Debate. There have been concessions on the part of national income accountants. There have been concessions, for instance, from the UN, which is trying to include in satellite accounts some measures of the value of unpaid work. This is not trivial. This is really a very significant contribution to well-being. Authors who have tried various ways of measuring the value of unpaid work suggest that it may be as valuable as one-quarter of household incomes. So it's one-quarter of our estimates of national income.

A new approach

But I want to focus here on a new approach. I want to look not at a bundle of commodities and how that might be valued. My question is what people thought was a respectable living standard and how they valued it in a particular society, because we know that social norms are shared in any particular society, in any time and place. People have a widespread consensus about what is an acceptable living standard. Can we not look at the historical record and explore it to try to find out what people thought was a respectable living standard and what it was valued at? Are there historical records that we can use to try and capture this shared ideal? What did it actually cost to live at a respectable standard? This would then get round the problems with new goods and the problems for substitution within the consumption basket if relative prices change. It really would be a good move. And I would say the evidence is in many depositories, archives and libraries. It takes many forms. I will provide you with some examples of the kinds of sources we can use to gather what a respectable living cost, historically.

My first type of source is accounts. Accounts contain lots of references to workers who were not merely paid a wage, but they were paid with a room and board. They were boardered and that features in the accounts because transport was often just too difficult in the past for workers to return home every night after they had finished work. We have found, for example, the box for churchwardens who paid a chap to paint some buildings they owned. Then, they also put him up and recorded in their accounts what it cost.

We also have price assessments, my second source. This was ceilings put on the costs of particular commodities which the local



authorities in medieval and early-modern England thought was good prices, which entered into respectable living standards. We also can guess at the cost of respectable living by looking in accounts and looking at what workers were paid when they were boardered, and what they were paid when they had to find their own food and lodge themselves. We can then take one from the other and see what the valuation of board and lodging was.

We can look at what social commentators said board and lodging cost. We can look at what medieval workers received in grain liveries, which were to cover their essential living standards. We can look at what the Navy and the Army paid when they were billeting. So we can look at the cost of billeting soldiers and we can, in fact, extract this evidence from that kind of source. We can look when people boardered family members and what it cost. We can look at the difference with and without food when we're looking at wage assessments which were, in fact, ceilings on workers' wages that were also provided analogies to those price assessments. And finally, we can also look at what servants were paid when employers left their houses or their firms, but they wanted to retain their

workers. In fact, they paid them to keep living in the neighbourhood or in the house in order to take up employment when the employer returned.

After investigating over 200 sources, I found an agreement, in the Cornish record office, between a woman called Amelia Thomas, and the local Methodist ministry, that she is going to board and lodge young preachers. And she says, "I'll do it for 17 shillings a quarter, plus you need to pay me three pence for every breakfast and four pence for every lunch". So she's going into great detail in what she's prepared to provide. I also found a receipt by the rather strangely named Duke Duck, for what he calls his board wages. We know how much he received to board and lodge himself from his employer who was on an estate in Wiltshire. And finally, my favourite example are the legal contracts. When people aged, they wanted to hand on some of their property to their children, but in return they wanted their children to maintain them. I found the contract of a widow who's handing on her property to her son. She says, "In exchange, he has to provide me with certain things. He has to provide me with food which I'm going to eat at his table, so it has to be the same quality that he's eating. He has to provide me with warmth with a chimney and fuel". She's laying out what is a respectable living standard for herself. And she says, "If he provides me with this, he doesn't need to pay me all the rent for the property I'm giving him. He can take away £6, 8 shillings, annually". So we have a good guess of what she valued her respectable living standard at.

The board and lodging costs were widely understood and negotiated around in wage discussions in medieval, early modern, and early industrial economies. Employers were well aware of the cost of board and lodging, and they discussed whether to, in fact, board

and lodge workers, or whether to have workers board and lodge themselves and pay them higher wages. That discussion is visible in many negotiations around wages. Poor living also produced rested workers. My favourite example of this is in an autobiography by a woman called Mary Ann Ashford, who was a domestic servant. She recalls how one of her employers tries to make her eat less so she doesn't cost as much in terms of her board and lodging. She does so by saying, "Oh Mary Anne, you would be so pretty if you didn't have such a fat face. Why don't you eat less and then your face will not be so chubby. And you'll get in fact some young men, and you might even manage to get married, my dear". But Mary Ann reports this, "Of course I paid no attention to this and I got my feet under her table and ate my fill". So these issues were widely understood in historical societies.

I've compared the cost of respectable living, nominal pence per day, and its evolution over time. There's a lot of variation, particularly as time passes, but part of it can easily be explained when we decompose our sample by age and gender. We could see very clearly that children's costs of respectable living were much lower. They cost much less to board and lodge compared to adults. And of course, women cost much less to board and lodge than men. The cost of respectable living also varies by skill in terms of whether or not workers were skilled or unskilled. They expected different amounts of respectableness and bettered in the board and lodging that was provided. Very skilled men, for instance, would enjoy a higher board and lodging standard.

The analysis of these sources tells me that, statistically, a woman would get a lower respectable living standard. The cost of her respectable living would be lower. This is positively related to the cost of respectable

Economists, even working with modern data, face very severe problems when using baskets to construct standard-of-living indexes and therefore measure real wages

living just as we'd expect it to be. The higher the baskets costs, the higher the costs of board and lodging. This shows us that my data is actually credible. It's got the kind of conditional probabilities that we would anticipate. You might want to notice here that the cost of respectable living varies positively with women's casual wages. That's a positive coefficient and statistically significant. Also, if washing is particularly specified in the respectable living bundle, then in fact, its cost is higher. Washing was very important in the past, and very laborious and honours. Don't let anybody tell you that nobody washed their clothes, in historical contexts. Of course, they did because cleanliness is comfortable, and people sought that comfort.

I have also compared the cost of the consumption basket, Professor Robert Allen's respectability basket, and the cost of respectable living, by decade. Then, we could see that the cost of respectable living is always greater than the cost of the basket of consumption goods. The reason of this is, first of all, because it costs time, energy, resources, money, and labour to turn those baskets into a living. That represents a gap, partially at least, which represents the value of domestic work. The value of that effort the women, particularly, are putting into turning the soap into cleanliness, turning the foodstuffs into meals, and so on. But also in this gap are the new goods coming into the basket. The gap also captures the fact that the basket probably is becoming a less and less good indicator of a respectable living standard over time.

The bottom line

So here's the bottom line. The costs of respectable living always exceed the basket consumption bundle. The gap indicates both the value of women's unpaid work and the appearance within respectable lifestyles of different and more goods. We can analyse, then, trends in the cost of respectable living and include women's wages as an independent variable. That might identify the residual as the expenditure on new goods, the inclusion of new goods in the respectability basket.

I worked with Jacob Weisdorf and did a diagram using not just the cost of the bundle of commodities but a quarter of a woman's wage historically. We could see that there was still a gap and I would argue that gap changes over time, reflecting different things. What we find in the 1500's is respectability begins to include higher quality food, cleanliness is becoming more and more mentioned in these accounts of what respectable living standards involved, and warmth and transport needs are also entering the accommodation of respectability. In the late 17th and early 18th century, we get de Vries's Industrious Revolution. So here it's the tropical groceries and the new fabrics creeping into the respectable consumption basket. Finally, in the mid 19th century, we get domesticity where, in fact, more and more labour is to be taking place to produce the clusters of comfort that mark out respectable living standards in the high Victorian era.

Finally, my implications are that we can

construct the value of women's unpaid work in the home in this way. It's laborious, but it lets the historical record speak to us. It lets people from the past tell us themselves what respectability involved. And we can take the value added by this work, and we can aggregate up to contributions to national income. My preliminary estimates here — again underlying the fact that this is not trivial— suggest that something like 20% to 25% of additional income is being generated by this work. Interestingly, this is about the same order of magnitude as other authors have found using very different methodologies and sources. So this is confirming some of that other work by feminist economists looking at female participation rates and women's wages to input values to domestic labour.

I think we can also explore the implication for structural change. As I said, once we start to look at women's work more carefully, it will inform us about structural change in a different way. Women's paid work tends to cluster in the manufacturing and service sectors, as in fact, Carmen Sarasúa and many Spanish gender historians have shown. But if domestic work is also, as it is, clustered in manufacturing and services, this means that there is even more. Those sectors are even more important historically than we would think just looking at the paid labour market or at national income as constructed by economists. Finally, I really hope that my work has debunked the myth that, historically, women were supported by men. They were, in fact, maintained out of male breadwinner wages. But actually women were at work in their homes as well as in workplaces, turning their husbands' wages, their own wages, and very often their children's wages, into living standards, respectable or barebones. In this way, this work uncovers another of women's contributions to economic wealth and structural change.

Bio



JANE HUMPHRIES

Es Centennial Professor en London School of Economics; profesora emérita de Historia Económica en la Universidad de Oxford y Emeritus Fellow en All Souls College. Su investigación se centra en los mercados de trabajo, en particular las mujeres y el trabajo de los niños, y en los vínculos entre familia y economía.

Ha sido editora de *Economic History Review*, presidenta de Economic History Society y vicepresidenta de Economic History Association. Ha escrito un gran número de artículos y ha editado varias colecciones y numerosos monográficos en revistas especializadas. Su artículo 'Enclosures, Common Rights and Women: The Proletarianization of Families in late Eighteenth and early Nineteenth Century Britain' ganó el premio Arthur H. Cole como mejor artículo publicado en *The Journal of Economic History* en 1990.

Su libro *Childhood and Child Labour in the British Industrial Revolution* fue galardonado con el premio Gyorgi Ranki como mejor libro en Historia Económica Europea por Economic History Association, en 2011. Un documental para BBC4, *The Children who Built Victorian Britain*, basado en la investigación de Humphries, ganó el premio al mejor programa de historia en el International History Makers Festival, en 2012. Es Fellow de la Academy of Social Sciences, de Royal Historical Society y de British Academy. Se le otorgó un CBE por su servicio a las Ciencias Sociales y a la Historia Económica en 2018 y ha recibido títulos honoríficos de las Universidades de Uppsala y Sheffield.



LA ARABIZACIÓN DE LOS MOZÁRABES

Por MARÍA JESÚS VIGUERA MOLINS

Real Academia de la Historia



Establecido al-Andalus en el territorio peninsular, desde 711 se iniciaron procesos de arabización e islamización, que afectaron a los autóctonos hispanogodos, cristianos o judíos, constituyéndose dos entidades políticas (Norte/Sur), diferenciadas por religión, cultura y estructuras económico-sociales, cada una de las cuales cimentó, con todos sus recursos, su respectiva identidad, desde sus enfrentadas permanencias, y produciéndose mixturas, como la de los autóctonos muladíes conversos al Islam o las oscilaciones latino/árabes de los mozárabes presentes, como los judíos en el espacio andalusí y en los reinos cristianos, cuyo avance territorial incluyó a población musulmana, como mudéjares.

Por decretos de conversión o expulsión terminó oficialmente el pluralismo religioso, en 1492 para los judíos y desde 1501 para los mudéjares, que pasaron a 'moriscos' hasta su destierro a principios del siglo XVII. Ambos grupos habían adquirido una nueva identificación: "cristianos nuevos", entre quienes se distinguían los criptoconversos, tanto 'de hebreo' como 'de moro'.

Sobre "Identities and Conversions" se habló en un ciclo de conferencias organizado por la Real Academia de la Historia, coordinado por María Jesús Viguera quien en su charla disertó sobre "La arabización de los mozárabes".

En conjunto, la población autóctona, en el interior de al-Andalus, se fue integrando con el resto de la población andalusí a través de dos procesos: arabización e islamización

La denominación de mozárabes se aplicó a los autóctonos de la Península Ibérica que -tras instalarse el Islam en al-Andalus desde el año 711- se arabizaron, pero no se islamizaron, a diferencia de los autóctonos muladíes que se arabizaron y además se islamizaron.

Hace unos años, la prestigiosa institución cultural francesa en Madrid, la Casa de Velázquez, organizó un Coloquio sobre *¿Existe una identidad mozárabe? Historia, lengua y cultura de los cristianos de al-Andalus (siglos IX-XII)*. La verdad es que este título define los tiempos y la raíz de los espacios mozárabes (surgidos en al-Andalus), como también pone el foco identitario en tres de los ejes: la propia historia, la lengua y la cultura. Me encargaron escribir, y así se publicó en las Actas, las conclusiones de aquel Congreso, y sabido es que cuando los investigadores abordamos alguna cuestión, solemos mantenerla abierta... y por eso he elegido tratar hoy sobre las lenguas que utilizaron los mozárabes... y, sin perder de vista el objetivo definido por título del Ciclo, calibrar qué entrañas posee una identidad pluricultural, plurilingüística.

Identidad es decir *identitas*, de “ídem” ‘mismo’, como rasgos que definen a ‘uno mismo’ (individual o colectivo) respecto a otros; esto reside en una percepción, y sus fronteras son variables. El gran antropólogo estructuralista, Lévi-Strauss, zanjó que la identidad es un foco virtual, en el memorable Congreso del Collège de France, sobre *L'Identité*, publicado en 1977... cuando el estructuralismo avanzaba al “análisis crítico del discurso”, que

precisamente suscitó temas sobre discurso y nacionalismo, mestizaje cultural, entre otros conexos que ahora enlazan con el tema de los mozárabes. A finales del siglo XX, Rosenthal y Hrynevich (1985) nos advertían la naturaleza multidimensional de la identidad étnica; de que la identidad está profundamente determinada por la pertenencia cultural. Esto resulta orientativo para abordar la identidad de los mozárabes. También nos sirve que -en este siglo XXI- el concepto de identidad matice la relación entre “Materiales culturales y construcciones identitarias”, aplicándose sobre resultados en la identidad cultural de las migraciones, que actualizan algunas dimensiones históricas de las confrontaciones identitarias, desde la psicología social y cultural, con notable aumento de publicaciones que calibran las estrategias de aculturación, aspecto puesto en candelero en estos años además por las aculturaciones de emigración y nacionalismos.

En tales teorías, y en las comparaciones, se sitúa nuestro tema de hoy: es decir, el devenir de los autóctonos a partir de la conquista islámica de *Spania* (pronto denominada al-Andalus) desde el año 711, cuando los autóctonos eran la población hispanogoda, o -más precisamente aún- eran la población hispanorromana-visigoda, de cultura latina, religión cristiana o judía, y estructura proto-feudal, los cuales, como situación de partida durante al menos los dos primeros siglos andalusíes, constituían una mayoría dominada, divergente de la en principio minoría dominante de árabes y beréberes, de cultura árabe

o arabizada, religión musulmana y estructuras estatal y tribal... Como vemos, ambos grupos de población, autóctonos por un lado y foráneos por otro, tenían fundamentales rasgos opuestos: en la fe, cultura, organización política y social, y residían sobre un territorio en pugna (tanto territorio físico como territorialidades simbólicas formadas en las representaciones ideológicas), y además, cada grupo -autóctono o foráneo- con sus respectivas referencias históricas.

En conjunto, la población autóctona, en el interior de al-Andalus, se fue integrando con el resto de la población andalusí a través de dos procesos: arabización e islamización, en los cuales los rasgos de la minoría dominante (funcionando así como 'mayoría') se traspasaron a la, en principio, mayoría dominada (como si se tratara de una 'minoría'). La arabización afectó a los mozárabes; y esta arabización cultural andalusí, por datos dispersos que encontramos en las fuentes textuales, resulta ya –a través de testimonios textuales, insisto– muy notable en la segunda mitad del siglo IX. Pero, por otra parte, la islamización parece haber llegado al 50% de la población con el califato en el siglo X, y progresivamente se amplía por la presión de los almorávides y de los almohades desde finales del siglo XI y durante el siglo XII.

Podemos deducir que entre los mozárabes se generalizó la lengua árabe con la llamativa 'orientalización de al-Andalus' de pleno siglo IX, y así adquirieron uno de los productos de interacción que resultan del contacto de las culturas, como fue la lengua árabe, al concurrir dos culturas (latina y árabe) en términos



desiguales: la árabe, dominante y la latina dominada, que, sin embargo resistió, con algunos "recursos de subsistencia", manteniendo el culturema religioso y, ligado a la fe algún uso del latín, que iba siendo sustituido por el árabe para otras manifestaciones cotidianas y literarias, como precisamente muestra un pasaje del mozárabe cordobés Álvaro de Córdoba lamentando que los jóvenes cristianos dejaran el latín para expresarse en árabe. Otra resistencia decisiva fue la continua emigración de mozárabes de al-Andalus hacia el Norte cristiano, donde ya no siguieron usando la lengua árabe, pero sí difundieron múltiples arabismos presentes en nombres propios de personas y lugares y en terminología jurídica, de varias profesiones y utensilios, lo

Los mozárabes fueron un eslabón esencial en la construcción ideológica de la Reconquista

cual prueba el grado de arabización alcanzado por aquellos cristianos andalusíes antes de su emigración, notable desde el siglo IX.

Precisamente, la documentación leonesa es la primera que nos atestigua que a estos cristianos andalusíes se les calificaba –precisamente– de arabizados: de *Mozárabes*, usando para llamarles la palabra árabe *musta`rib*. Bien documentado está que los cristianos andalusíes emigrados estaban arabizados: los más antiguos documentos en que se usa el apelativo (*musta`rib*: «mozárabe»), son leoneses y están fechados en 1024 y luego en 1038. *Musta`rib*, participio árabe de la raíz `ARABA: *ista`raba*, “estar arabizado”, distintivo de los cristianos andalusíes dentro de la denominación previa y más abarcadora de *hispani*, que venía englobando a los autóctonos peninsulares. La palabra *Musta`rib* no ha tenido una explicación fácil... en el siglo XIII, el arzobispo Jiménez de Rada señaló que llamaban así a los “mezclados con los árabes” (*mixti arabi*), lo cual no es la etimología de ‘mozárabes’, pero contiene un valor interpretativo inapreciable: así los veía el arzobispo, con su carga negativa. Realmente *Musta`rib* es palabra árabe antigua, aplicada en textos árabes a “los árabes que no son de raza árabe, pero están arabizados”, lo cual señalé, creo que por primera vez, en mi artículo “*Mozárabes y cristianos de al-Andalus (siglos VIII-XI)*”<sup>1</sup>. Sobre *Musta`rib* y su castellanización en “mozárabe” se han propuesto varias etimologías e interpretaciones² y, por extensión, puede aplicarse al conjunto de cristianos arabizados de la Península Ibérica medieval, y así utilizar esa adecuada designación de forma más amplia.

Sin emigrar al Norte cristiano, hubo cristianos en al-Andalus hasta los tiempos de Almorávides y Almohades, que en el siglo XII, fueron forzando el pacto de “protección” (*dimma*) con que el Islam regula jurídicamente la permanencia de cristianos y judíos. Ya sabemos que por un lado va la ordenación ideal y por otro las realidades de la vida social. “Mozárabes” es el nombre documentado en el Norte peninsular. En al-Andalus, se documenta a veces el apelativo de *nasrani* (derivada de Nazaret: al-Nasira; y de ‘nazareno’), que designa de forma genérica a los cristianos, aunque hay otras varias designaciones. Existe un testimonio interesantísimo de la autodenominación (religiosa, y no lingüística) como *nasrani* de un cristiano andalusí, en un aguamanil con figura, un pavo real, encontrado en Medina Azahara, fechado en 972 (en el esplendor del Califato), con inscripción bilingüe latina y árabe: “Opus salomonis era TX [año de la Era 1010: año 972 de nuestra Era]”, y en árabe: ‘amal ‘Abd al-Malik an-nasrani: ‘obra de ‘Abd al-Malik al-nasrani’: se puede observar la cruz al principio de la frase latina, y el nombre arabizado de ese magnífico artífice cristiano *nasrani* ‘Abd al-Malik’. Está en el Museo del Louvre, objeto de continua y admirativa atención estudiosa. Testimonio del bilingüismo árabe-latín, y de la arabización en escritura y en onomástica de un mozárabe andalusí.

La dificultad de los análisis terminológicos es ilustrativa, tanto sobre la etimología como sobre la aplicación histórica e historiográfica de la palabra ‘mozárabe’, y esto en parte tiene que ver con que las cuestiones en torno a los mozárabes, los cristianos andalusíes arabizados, son uno de los temas medievales



más hondamente marcados por sentimientos e interpretaciones ideologizadas, hasta nuestros días. Algunas de tales interpretaciones exaltaban el continuismo cristiano, desde lo anterior a la progresiva reconquista de los territorios andalusíes, es decir: los mozárabes servían a la representación reconquistadora como legitimación de la que así podía considerarse como recuperación y continuación del reino visigodo.

Los mozárabes fueron considerados como parte de España, sobresaliendo en ello Francisco Javier Simonet (Málaga, 1829-Madrid, 1897), en su erudita *Historia de los mozárabes de España*, que enalteció la consideración de aquellos "mozárabes" como "españoles -dice Simonet al comenzar su Prólogo- que, subyugados por la morisma, mas no sin honrosos pactos y capitulaciones, conservaron constantemente por espacio de muchos siglos la religión, el espíritu nacional y la cultura de la antigua España romano-visigótica y cristiana, arrostrando con entereza muchos trabajos, persecuciones y calamidades, ganando nobilísimos lauros y palmas

de héroes, de doctores y de mártires, contribuyendo con su ayuda y su saber a la restauración y progresos de la nueva España". Fijémonos que este párrafo definidor de los mozárabes no menciona que se arabizaron, tanto en idioma como en algunos usos. El de Simonet era un discurso nacionalista, que planteaba los hechos del pasado desde los intereses de aquel siglo XIX, y tan extremo que la publicación de su premiado trabajo se retrasó años.

Los mozárabes fueron un eslabón esencial en la construcción ideológica de la Reconquista, que empezó a ser configurada desde las primeras crónicas del reino asturiano, con un precedente muy interesante en crónicas mozárabes compuestas por eclesiásticos: la del año 741, y sobre todo la del año 754, que a su modo relatan la conquista árabe y configuran el desastre, comparándolo -como hace la crónica del 754- con la caída de Troya, Jerusalén, Babilonia o Roma; es famosa su frase sobre la infeliz *Spania*, antes deliciosa y ahora devastada: *Spania quondam deliciossam et nunc missera effecta*.

Unos treinta o cuarenta años antes de la escritura de estas obras en latín que construyen el discurso catastrofista de la invasión islámica, se acuñaron en al-Andalus –en 716-717– monedas bilingües latino-árabes, que tuvieron su precedente en otras latino-árabes norteafricanas. Esos dinares bilingües de al-Andalus son un testimonio muy importante: el latín aparece así en la esfera pública y oficial de al-Andalus: dice HIS SOLIDUS FERITUS EST IN SPANIA. Correspondiendo al árabe: *Duriba hada l-dinar fi l-Andalus*. SPANIA/AL-ANDALUS: un Estado sustituye a otro, con sus respectivos pero correspondientes nombres. ¿Por qué recurren al latín? Yo creo que como manifestación del nuevo poder, para toda *Spania* y para todo al-Andalus, es decir sobre toda la población, tanto autóctona como foránea. Las siguientes acuñaciones, sólo usarán la lengua árabe.

El discurso identitario mozárabe

El discurso identitario mozárabe reaparece en textos latinos, porque en ellos el latín marca claramente la anti-aculturación de los núcleos más resistentes, utilizando además un latín de calidad. Estos textos surgen de los mozárabes cordobeses en pleno siglo IX. Textos publicados en varias ocasiones, como en la magnífica edición de Juan Gil: *Corpus scriptorum Muzarabicorum*, con textos religiosos, de polémica antimusulmana y, precisamente, de exaltación de los mártires cordobeses, como en una de las obras del cultísimo mozárabe cordobés Paulo Álvaro: la *Vita vel passio beatissimi martiris Eulogii* (860). La arabización de los autóctonos fue progresiva, como podemos deducir de casos aislados, pero esa arabización, a mediados del siglo IX, era ya tan significativa como para provocar el ya mencionado y famoso lamento del mozárabe Paulo Álvaro Cordubense (m. Córdoba, 861), que denuncia el desuso del latín entre sus jóvenes correligionarios, que prefe-

rían utilizar el árabe: *Nonne homnes iuvenes Xpiani uultu decori, lingue disserti, habitu gestuque conspicui, gentilici<a> eruditioni preclari, Harabico eloquio sublimati uolumina Caldeorum havidissime tractant...*

Es decir³: “¿No es verdad que todos los cristianos jóvenes, de hermoso semblante, de elocuente estilo, de porte y atavío llamativos, orgullosos de su formación pagana, ufanos de su dominio del árabe, manejan con la mayor avidez los libros de los Caldeos [= árabes], los leen con la mayor atención, los discuten con el mayor entusiasmo y, tras reunirlos con gran afán, los promocionan a fuerza de alabarlos en una lengua flexible y precisa, a la vez que ignoran la belleza de la doctrina de la Iglesia y desdeñan los ríos que manan del paraíso como si fuesen de ínfimo valor? ¡Ay, qué dolor!, ya no conocen los cristianos su doctrina ni dominan los latinos su propia lengua, hasta el punto de que en toda la comunidad cristiana apenas se encuentra uno de cada mil capaz de redactar una carta saluatoria a su hermano como es debido, y se hallan incontables turbas que despliegan con erudición la pomposa palabrería caldea [= árabe], hasta el extremo de que en poesías de una factura métrica más elegante que la de los propios gentiles y de más sublime belleza, embellecen las cláusulas finales con la repetición de la misma letra y, de acuerdo con las exigencias del genio de esa lengua, que concluye las frases y miembros siempre con trazos vocálicos, aunque la totalidad de las letras del alfabeto varíe de forma en las distintas expresiones, concluyen aquellas con el mismo fin o con el mismo trazo de manera rítmica o incluso métrica, en la medida de su competencia”.

Importantísimo testimonio del mozárabe Álvaro Cordubense (m. Córdoba, 861), con intenciones múltiples: denuncia que los jóvenes cristianos prefieren la literatura árabe y la poesía de modo especial, cuya métrica y rima él

mismo describe con buen conocimiento; y es un manifiesto en pro de la identidad latina, que entiende amenazada por la arabización. Estos motivos llevaron a los mozárabes latinados a reanudar las tradiciones poéticas latinas, enriquecidas incluso por "audaces comparaciones y metáforas"⁴: recordemos que en esto sobresale la poética árabe: "este doble ejercicio de emulación –de la tradición poética cristianolatina y a la vez de la poesía árabe... fue impulsado por una personalidad singular, Eulogio de Córdoba... adalid del movimiento martirial" (que duró del 851 al 859), y que viajó a Pamplona, en 848, y reunió importantes manuscritos latinos que

–en ese afán reafirmación identitaria– llevó a Córdoba, según refiere Álvaro en su biografía de Eulogio. Pero hay más: una veintena de años después, un mozárabe cordobés llamado Hafs ibn Alvar al-Quti = Hafs hijo de Álvaro el Godo traducía los Salmos en versos

árabes... ¿Sería hijo de Álvaro Cordubense como el nombre parece sugerir? ¿En tan sólo una generación la arabización había avanzado tanto en Córdoba como para fraguarse un movimiento de traducción de textos latinos al árabe... por haber retrocedido tanto la latinización?

Pese al proceso de arabización, el latín –como rasgo definitorio– siguió usándose en al-Andalus de forma muy testimonial en algún objeto litúrgico y en lápidas funerarias, del trascendente paso del ser humano, en este caso mozárabe, al Más Allá, cuya cronología, entre las encontradas en el interior de al-Andalus va desde mediados siglo IX al 1010 d. C.⁵) y, como otros materiales comienzan a

analizarse con propósito de avanzar en la visibilidad de los cristianos andalusíes, teniendo en cuenta la observación de Alberto León y Juan Francisco Murillo⁶ han advertido con razón que: *"la arqueología puede proporcionar nuevas perspectivas y una ampliación de la documentación disponible, si bien lo ocurrido con el estudio de otros grupos religiosos o étnicos debe hacernos guardar una elemental prudencia sobre la extrapolación simplista de las conclusiones extraídas de una cultura material muy influida por múltiples y complejos procesos de aculturación"*.



En paralelo a las fuentes textuales, las inscripciones latinas en al-Andalus señalan la vigencia del latín todavía en el siglo X, y alguna pervivencia durante el siglo XI, sobre todo en medios acomodados y eclesiásticos, como la 'campana del abad Sansón', que en 875 (913 de la Era Hispá-

nica, como indica su inscripción latina) regaló esa campana a la Iglesia (*domum*) de San Sebastián, en la serranía cordobesa. Llevan inscripción latina un candil del siglo X y el citado aguamanil con texto en latín y en árabe obra del cristiano 'Abd al-Malik, y se conservan varias lápidas latinas descubiertas en áreas urbanas, y otras en menores enclaves, sobre todo en Córdoba y Granada, además de en Málaga, Badajoz y en Faro (Portugal), con epitafios del siglo IX, del X, y principios del XI. Estas lápidas en mármol blanco, la mayoría bien escritas y trazadas, con adornos incluso que reflejan motivos andalusíes coetáneos, se sitúan en medios que muestran su conservadurismo solemne del latín, pero también aparece cerca de ellas el recurso al



árabe, en la lápida bilingüe descubierta en Cercadilla (Córdoba). Los testimonios textuales y materiales indican que, en el siglo XII, la arabización y la islamización se generalizaron en al-Andalus.

A modo de conclusión

La lengua árabe acompañó de modo prioritario la expansión islámica entre Persia y el Atlántico, produciéndose en tan extenso espacio la aculturación total o parcial de las poblaciones autóctonas, situadas en dos procesos determinantes: la arabización y la islamización. Como en los otros ámbitos en que la expansión islámica desarrolló la arabización, también en al-Andalus el latín llegó a ser progresivamente reemplazado por la lengua árabe, según unos ritmos y niveles que aquí hemos resumido, y que debemos situar y contemplar con naturalidad entre todos los casos conocidos dentro de la historia de las civilizaciones humanas, en que los usuarios de una lengua adoptan otra distinta, cuando esta segunda, en tiempos y espacios determinados, ejerce algún protagonismo de “lengua global”.

¿Cómo al-Andalus se arabizó?: quizás, como ha planteado Ana Echevarría, porque los cristianos de al-Andalus tuvieron que adoptar procedimientos y conceptos legales

del derecho islámico, partiendo de la traducción árabe de las Actas de los Concilios (ms. árabe de El Escorial); Cyrille Aillet (que realizó en 2010 una espléndida Tesis sobre los mozárabes) señala que el aumento progresivo del número de glosas marginales árabes en manuscritos latinos a partir del siglo IX muestra el avance de la arabización entre los cristianos andalusíes, que necesitan del árabe para comprender el latín. Hanna Kassis, a través del estudio de las Sagradas Escrituras cristianas traducidas al árabe, concluyó que el proceso de arabización fue rápido, pues los cristianos debían adoptar la cultura de los gobernantes para evitar la marginación: es decir, se habría producido presión social para adoptar el árabe. Philippe Roisse piensa que la aculturación no se produjo por coacción sino por el propio contacto e influencia de una cultura dominante. Además, afirma este investigador, la propia Iglesia, en contacto con el poder, se arabizó y sirvió de elemento de arabización para los cristianos.

Son apreciaciones interesantes sobre las identidades y sus aculturaciones, con interés histórico y a la vez plena actualidad, como se capta en el interés revitalizado por la entidad y las trayectorias de los cristianos de al-Andalus, cuyo bilingüismo resulta caso notable dentro de los procesos de la “Europa bilingüe”, como plantean contribuciones al libro editado por Jan Bloemendal⁷, *Bilingual Europe: Latin and Vernacular Cultures - Examples of Bilingualism c. 1300-1800*. Nótese que las diversidades culturales y sus procesos hoy ocupan el trasfondo del renovado interés hacia la identidad y la cultura mozárabes, como al plantearse algunos estudios, editados por M. Maser y otros, sobre la diversidad de los sistemas culturales⁸. Los mozárabes vuelven a concentrar atención histórica e historiográfica, y aún quedan aspectos por analizar y situar⁹, relativos a su identidad cultural, entre “Oriente y Occidente”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ *XI Congreso de Estudios Medievales: Cristianos y musulmanes en la Península Ibérica Medieval: la guerra, la frontera y la convivencia*, Ávila, Fundación Sánchez Albornoz, 2009, 179-186, espec. p. 184.

² Jean-Pierre Molénat, "Los mozárabes, entre al-Andalus y el Norte peninsular", minorías y migraciones en la historia, coord., Ángel Vaca Lorenzo, Ediciones Universidad de Salamanca, 2004, 11-24; Cyrille Aillet, "De l'usage du vocable « mozarabe » en Histoire médiévale", Ménéstrel, 14 febrero 2012, <http://www.menestrel.fr/spip.php?rubrique1619>.

³ Álvaro Cordubense, *Indiculus Luminosus, en Corpus scriptorum Muzarabicorum*, ed. Juan Gil, Madrid, Instituto Antonio de Nebrija, 1973: 314-315; trad. Fernando González Muñoz, *Latinidad mozárabe. Estudios sobre el latín de Álvaro de Córdoba*, La Coruña, Universidad de La Coruña, 1996.

⁴ Fernando González Muñoz, "En torno a la poesía latina de la Córdoba del siglo IX", en Juan Casas Rigall (ed.), *Iberia cantat. Estudios sobre poesía hispánica medieval*, Universidade de Santiago de Compostela, 2002, 31-60.

⁵ M^a Antonia Martínez Núñez (2014), "Las fuentes epigráficas. Siglos IX-X", *Jábega*, 105 (2014), 59-73; Rafael Azuar (2015): "De Arqueología mozárabe. I", *Arqueología y Territorio Medieval*, 22 (2015), 121-145; *id.*, "De Arqueología mozárabe. II. De sus iglesias y documentos epigráficos", *Arqueología y Territorio Medieval*, 23 (2016), 75-102.

⁶ "Las comunidades *dhimmis* cristianas en la Córdoba omeya. Posibilidades y límites de su visibilidad arqueológica", *al-Mulk*, 15 (2017), 145-174, espec. p. 141.

⁷ Leiden-Boston, Brill, 2015.

⁸ *Von Mozarabern zu Mozarabismen. Zur Vielfalt kultureller Ordnungen auf der Mittelalterlichen Iberischen Halbinsel*, Münster, Aschendorff Verlag, 2014.

⁹ Daniel Potthast, *Christen und Muslime im Andalus. Andalusische Christen und ihre Literatur nach religionspolemischen Texten des zehnten bis zwölften Jahrhunderts*, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, 2013.

Bio



MARÍA JESÚS VIGUERA MOLINS

Catedrática de Estudios Árabes e Islámicos en la Universidad Complutense (Madrid), desde 1983. En esta Universidad ha dirigido durante 12 años el Departamento de Estudios Árabes e Islámicos y allí fundó y fue la inicial directora de *Anaquel de Estudios Árabes*. En la actualidad, dirige la revista *Hesperia. Culturas del Mediterráneo*. Co-dirige la colección *Horizontes de al-Andalus*. Es Correspondiente de la *Reial Acadèmia de Bones Lletres de Barcelona*, desde 1990; de la *Real Academia de Córdoba, de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes*, desde 1994. Fue becaria de la Fundación Juan March.

Pertenece a numerosas Instituciones y Asociaciones, y a una larga veintena de los más prestigiosos Comités de Redacción y de Consejos Asesores y Científicos de su especialidad.

Ha publicado 55 libros, ediciones, traducciones y libros colectivos.

Sus principales líneas de investigación son la historia de al-Andalus; la historiografía y contextos del Arabismo español y la historia de los manuscritos árabes en España.

Texto procedente del Diccionario Biográfico Español.

DESIGUALDAD

DE LA RIQUEZA EN ESPAÑA



La Fundación Ramón Areces acogió una conferencia sobre desigualdad en la que se presentó el Primer Informe sobre la Desigualdad Global. Este informe ofrece a los distintos actores sociales la evidencia necesaria para permitirles participar, de forma más informada, en el debate sobre la desigualdad. Para su elaboración, el World Inequality Lab (Laboratorio sobre la Desigualdad Global) se basa en la última evidencia disponible sobre la distribución del ingreso y de la riqueza.

CLARA MARTÍNEZ-TOLEDANO

Paris School of Economics y World Inequality Lab

Wealth Concentration in Spain, 1984-2013

(Wealth shares, % total wealth)

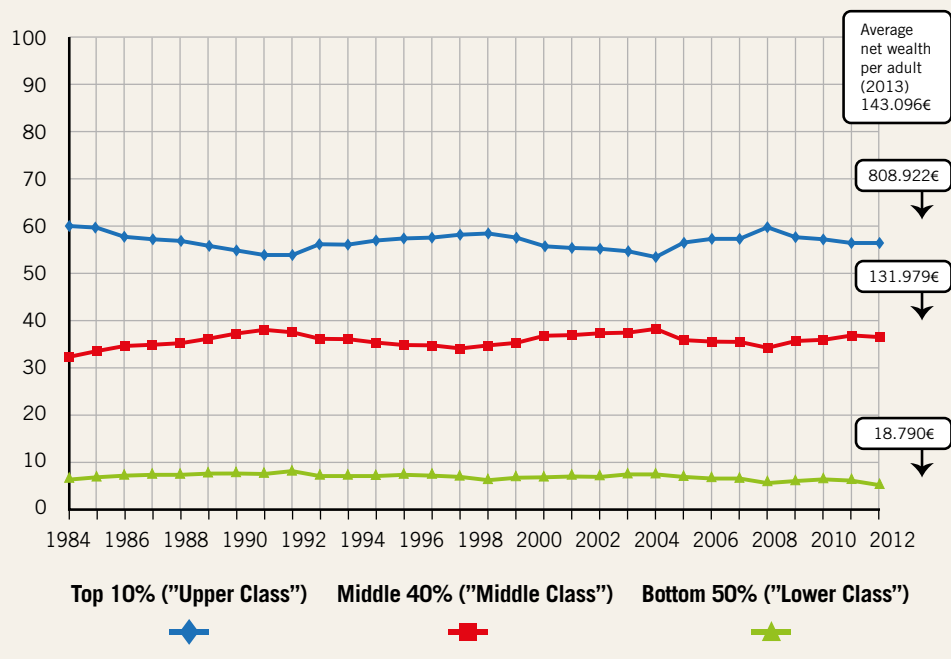


Gráfico 1

Los niveles de concentración de la riqueza en España son similares a los de Francia y menores a los de Estados Unidos

El informe se centra en la evolución de la desigualdad de la riqueza desde los años ochenta hasta la actualidad. En concreto, el informe incluye un resumen sobre el trabajo de investigación "Housing Bubbles, Offshore Assets and Wealth Inequality in Spain, 1984-2013" realizado por Clara Martínez-Toledano, doctoranda en Economía en Paris School of Economics e investigadora asociada al World Inequality Lab¹.

Este trabajo se basa en la reconstrucción de series sobre la distribución de la riqueza en España haciendo uso de datos fiscales, encuestas de hogares y las cuentas nacionales. A continuación, se resumen los principales resultados del trabajo.

Si se descompone la distribución de riqueza en tres grupos (el decil rico (top 10%, clase alta), los deciles cinco a nueve (middle 40%, clase media) y los cinco primeros deciles (bottom 50%, clase baja), el primer resultado que se obtiene es que la desigualdad de la riqueza se ha mantenido bastante estable en los últimos treinta años y los niveles de concentración son, por lo tanto, similares en los ochenta que en la actualidad (ver gráfico 1)². La clase alta concentra entre el 50 y el 60% de la riqueza neta, la clase media posee entre el 30 y el 40% de la riqueza neta y la clase baja entre el 5 y el 10% de la riqueza neta a lo largo de todo el periodo. Esta estabilidad se debe fundamentalmente al efec-

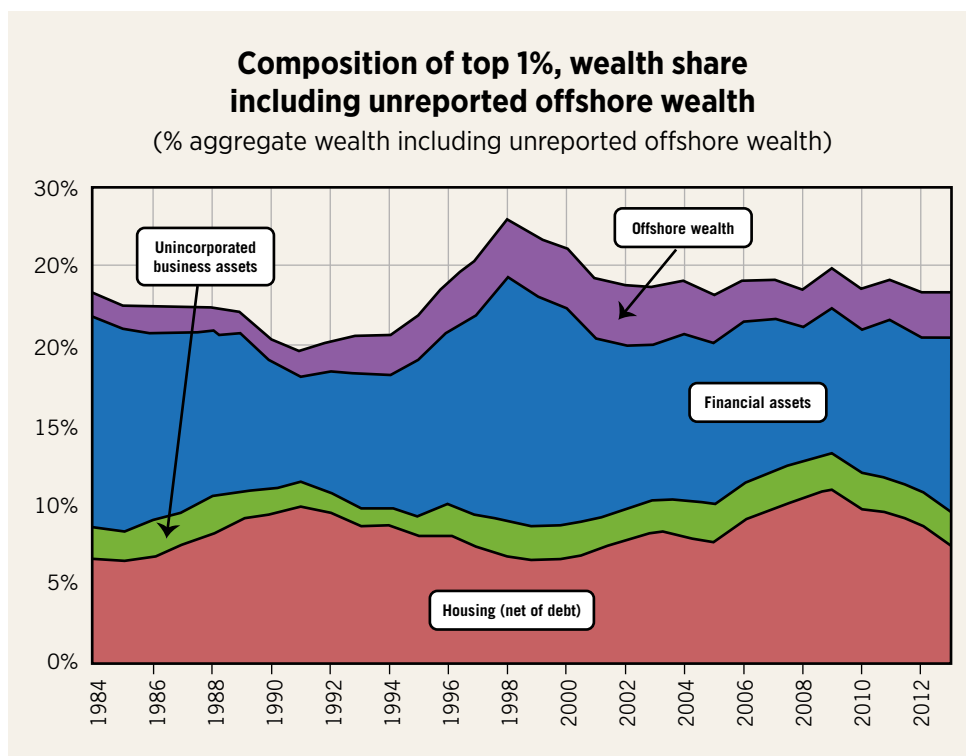


Gráfico 2

to suavizador de los activos inmobiliarios, que tienen un gran peso en la riqueza de los hogares en España representando entre un 40-50% a lo largo de todo el periodo.

El segundo resultado relevante es la importancia de los activos off-shore no declarados, esto es, los activos en manos de españoles depositados en paraísos fiscales y no declarados a las autoridades fiscales de España, dentro de la cartera del 1% más rico. Por ejemplo, mientras que en 2013 el 1% más rico de España poseía aproximadamente un 22% del total de riqueza neta, este porcentaje sube al 24% cuando se incluyen los activos off-shore no declarados (ver gráfico 2).

En tercer lugar, si comparamos la evolución de la desigualdad de la riqueza en España con otros países para los que se ha usado una metodología similar a la hora de reconstruir las series (Francia y Estados Unidos), obtenemos que los niveles de concentración

de la riqueza en España son similares a los de Francia y menores a los de Estados Unidos (ver gráfico 3). Estos resultados son similares a los que se obtienen usando como fuente las encuestas de hogares.

Una particularidad de la distribución de la riqueza para el caso español es que los individuos en la parte más alta de la distribución invierten relativamente más en activos inmobiliarios que en otros países avanzados. Si comparamos, por ejemplo, la composición de la riqueza a lo largo de la distribución en España y Francia en 2012 observamos que mientras que en Francia el 10% más rico concentra aproximadamente un 25% del total de activos inmobiliarios en manos de hogares, en España este porcentaje es más del 40% (ver gráfico 4).

En quinto lugar, si descomponemos las series de riqueza por edad obtenemos que los individuos en edad de jubilación se han

Top 10% Wealth Share: International comparison 1984-2013

(using capitalization method)

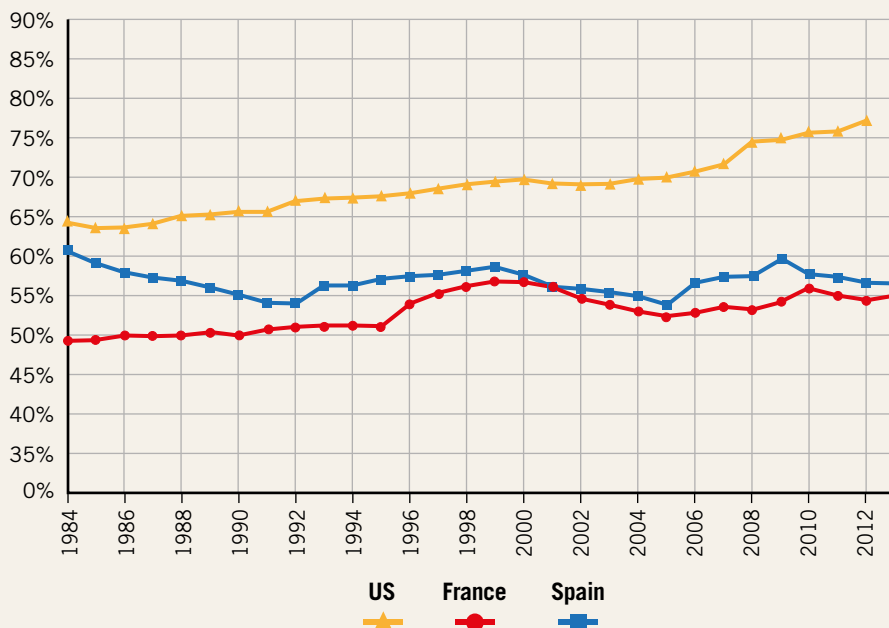


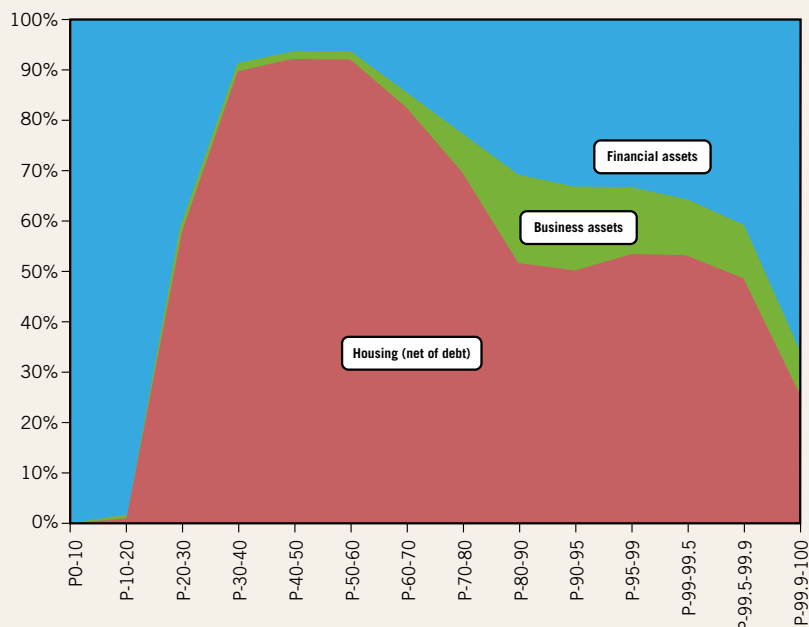
Gráfico 3

beneficiado relativamente más de la crisis que los jóvenes y adultos en edad de trabajar. Como muestra el gráfico 5, la riqueza media como porcentaje de la riqueza media total para los adultos entre 30 y 60 años se ha reducido entre 2001 y 2013, mientras que para los mayores de 60 años ha aumentado. Uno de los factores que podrían explicar este fenómeno es el mayor efecto que tuvo el desempleo durante la crisis sobre los adultos en edad de trabajar.

Finalmente, para entender mejor por qué la concentración de la riqueza no ha variado tanto antes y después del estallido de la burbuja inmobiliaria es relevante descomponer el proceso de acumulación de riqueza a lo largo de la distribución entre cambios debidos a ganancias de capital, esto es, cambios en el valor de los activos, y cam-

bios debido al ahorro o desahorro de los individuos. En el caso de España, observamos que el 10% más rico sustituyó parte de sus activos inmobiliarios por activos financieros al comienzo de la crisis, esto es, desahoraron en activos inmobiliarios al comienzo de la crisis y empezaron a ahorrar más en activos financieros. Las clases medias y bajas al estar mucho más endeudadas debido a sus activos inmobiliarios y no tener una cartera tan diversificada (muchos de ellos solo poseen algún depósito o una única vivienda) no pudieron llevar a cabo ese ejercicio de sustitución, por lo que sus tasas de ahorro han variado mucho menos. Este ejercicio de sustitución ha permitido a las clases altas reducir el impacto negativo de la caída de los precios de la vivienda sobre su cartera (ver gráfico 6).

Asset composition by wealth level, Spain 2012



Asset composition by wealth level, France 2012

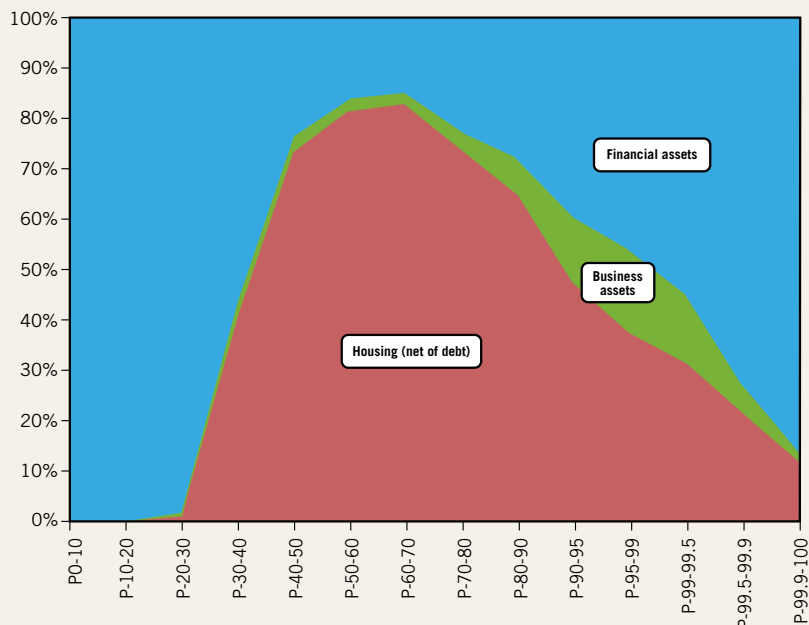


Gráfico 4. Panel A (arriba) y Panel B (abajo)

Age-wealth profiles in Spain, 2001-2013

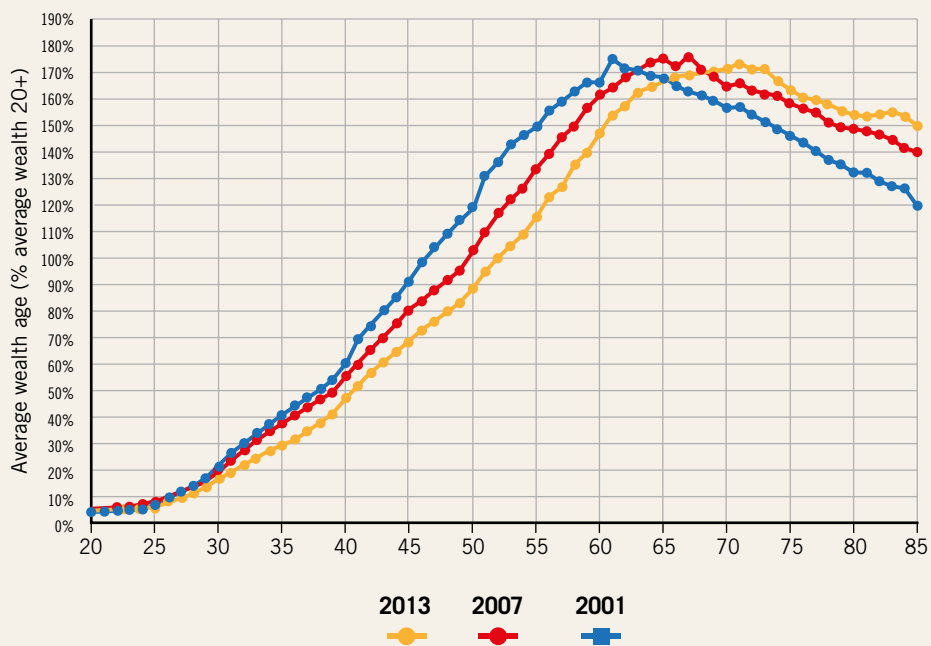


Gráfico 5

Si descomponemos las series de riqueza por edad obtenemos que los individuos en edad de jubilación se han beneficiado relativamente más de la crisis que los jóvenes y adultos en edad de trabajar

REFERENCIAS

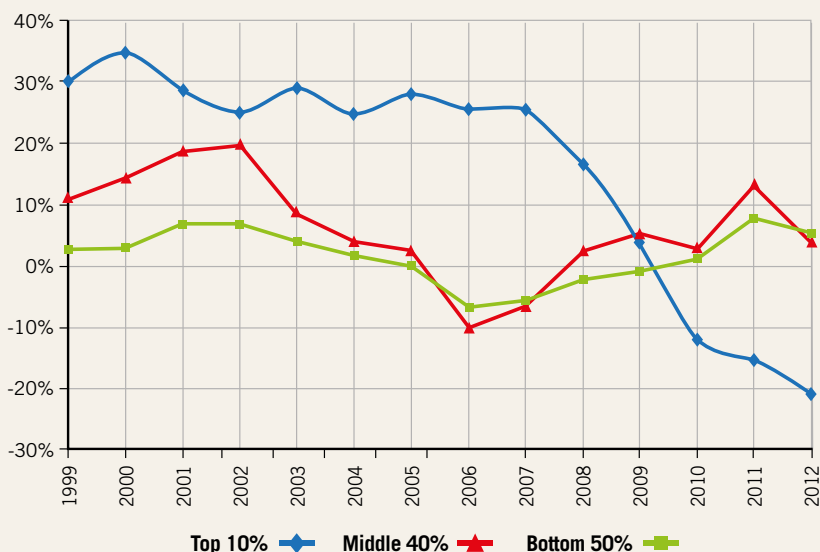
¹ La versión actual es preliminar y cubre el periodo 1984-2013. Actualmente se está finalizando la versión definitiva que cubrirá el periodo 1984-2015..

² Estos resultados están basados en la distribución extrapolada para 2012 y 2013 de algunos activos de la Encuesta Financiera de las Familias de 2011, puesto que en el momento en el que se mandó el informe a publicación los micro-datos de la Encuesta Financiera de las Familias de 2014

aún no habían sido publicados. Las series han sido actualizadas en la actualidad incluyendo la información de la Encuesta Financiera de las Familias 2014 y los nuevos resultados muestran que la concentración de la riqueza ha aumentado entre 2011 y 2015. Esto contrasta con los resultados anteriores que mostraban que la concentración se había mantenido estable entre 2011 y 2013.

Saving rates on net housing by wealth group in Spain, 1999-2012

(5-year moving average)



Saving rates on financial assets by wealth group in Spain, 1999-2012

(5-year moving average)

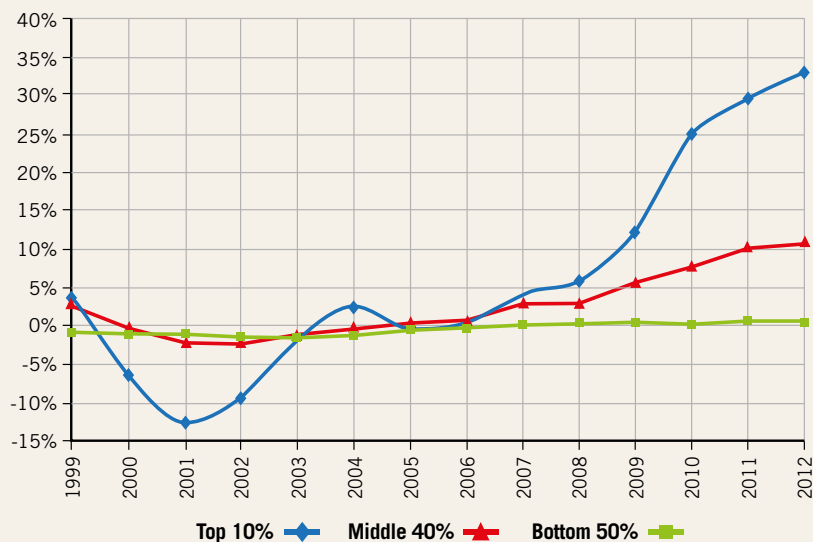


Gráfico 6. Panel A (arriba) y B (abajo)

1918-2018

100 AÑOS DE "LA GRIPE ESPAÑOLA", LECCIONES PARA EL FUTURO



A finales de septiembre del año 1918, se produjo en España la segunda y más mortífera oleada de la pandemia de la Gripe Española, denominada también en nuestro país "el mal de moda". Con motivo de este evento y coincidiendo con el comienzo de la campaña de vacunación estacional de gripe, la Fundación Ramón Areces, en colaboración con la Universidad San Pablo CEU organizaron el Simposio Internacional sobre el virus de la gripe con la idea de revisar dónde nos encontramos en el conocimiento del virus y qué retos tenemos por delante relacionados con la infección gripal.

ESTANISLAO NISTAL

Universidad CEU San Pablo

La Gripe Española fue la pandemia de gripe con un mayor número de muertos de la historia, y el brote infeccioso que mató a más personas en la historia contemporánea mundial

La Gripe Española fue la pandemia de gripe con un mayor número de muertos de la historia, y el brote infeccioso que mató a un mayor número de personas en la historia contemporánea mundial. Se estima que en el mundo murieron entre 40 y 50 millones de personas a lo largo de tres oleadas infecciosas durante los años 1918 y 1919 causadas por esta cepa de virus. En torno a 250.000 de esas muertes se produjeron en España. La morbilidad y mortalidad causada por la gripe se vio agravada por infecciones bacterianas secundarias posteriores, con el resultado de unas neumonías letales.

En un mundo en el que no existía ningún fármaco para tratar la infección viral o la neumonía bacteriana, inmerso en una guerra mundial, con unos sistemas de salud saturados, milicias hacinadas y un control de la información muy fuerte que impidió alertar a la población a tiempo, se produjo el caldo de cultivo ideal para que la infección por un virus como el de la gripe de 1918 no tuviera ningún límite de contención y se extendiera por todo el mundo sin freno, causando la muerte en torno al 3% de la población humana.

Hace 100 años, la población humana no tenía conocimiento del virus de la gripe. Las casusas del brote de virus de 1918 se atribuyeron, en el mejor de los casos, a bacilos desconocidos, o a variantes altamente patogénicas de cepas de bacterias como el bacilo de Pfeiffer, conocido hoy en día como la bacteria *Haemophilus influenzae*, y a los que se les reconocía como causantes de las neumonías severas conocidas por entonces. No fue hasta 15 años más tarde, en 1933, cuando Wilson Smith, Christopher Andrews, y Patrick Laidlaw, en el Reino Unido, aíslan

por primera vez el virus de la gripe de humanos y son capaces de infectar con este virus a hurones, que reproducían los síntomas de la enfermedad.

Desde el descubrimiento del virus de la gripe, se ha trabajado intensamente en la comprensión de todos los mecanismos implicados tanto en la replicación, como en la interacción del virus con las células infectadas y con el paciente infectado. Gracias a los avances en estos campos, hoy conocemos mejor las causas asociadas con una mayor capacidad patogénica de ciertas cepas. Por otro lado, el estudio en la transmisión del virus ha permitido avances cruciales en la epidemiología y en la comprensión de las zoonosis causadas por los virus de la gripe aviar y porcina. Nuevas técnicas de secuenciación han permitido caracterizar molecularmente no solo las cepas de gripe con interés clínico, sino otras cepas poco patogénicas, o cepas circulantes de las distintas especies animales susceptibles de ser infectadas por el virus de la gripe, así como las bacterias asociadas a la infección por el virus. Gracias a los avances en biología celular y molecular, conocemos los mecanismos celulares alterados por el virus durante su replicación, así como numerosos aspectos inmunes que el organismo es capaz de activar en respuesta a la infección.

El diseño de una vacuna frente al virus de la gripe ha sido una constante desde los primeros intentos en 1936, llevados a cabo por el científico soviético A. Smorodintseff tras el crecimiento reiterado del virus en huevos embrionados y su atenuación continuada. Desde entonces, tanto desde el mundo de la virología de la gripe como desde la industria de vacunas, ha habido un gran esfuerzo



Foto de grupo de ponentes y moderadores: Arriba de izquierda a derecha: Dres. Yoshihiro Kawaoka, Peter Palese, Martin Schwemmler, Robert Webster, Raúl Ortiz de Lejarazu, Adolfo García Sastre, Anton Erkoreka, Aartjan te Velthuis, Amelia Nieto y Jaime Martín-Benito. Debajo de izquierda a derecha: Dres. Estanislao Nistal Villán, Gustavo del Real, Inmaculada Casas, Amparo Larrauri, Juan Ortín, Wendy Barclay, Jean-Laurent Casanova y Mirco Schmolke. Fotografía cedida por el Dr. Anton Erkoreka.

en tratar de conseguir una vacuna frente a las distintas cepas de virus circulante en humanos, así como frente a las posibles cepas pandémicas que puedan llegar en el futuro. Aunque el éxito en este campo es parcial, nuevas estrategias en el diseño de la vacuna como en la estrategia de su administración hacen suponer que su eficacia va a ser mayor en el futuro. Igualmente, la búsqueda y la mejora de fármacos antigripales continuarán siendo un reto muy importante.

En el programa inicial del simposio se había planteado la intervención del profesor Julio Rodríguez Villanueva, conocedor de primera mano de la evolución en el conocimiento del virus de la gripe desde sus orígenes, maestro de muchos y gran valedor del trabajo realizado por la Fundación Ramón Areces a lo largo de los años. Tristemente, el profesor Villanueva nos dejó el 21 de noviembre de 2017 y quisimos dedicar este evento a su memoria y recuerdo.

Mediante la organización de un evento para conmemorar el centésimo aniversario

de la gripe de 1918, quisimos revisar los principales avances en la biología del virus y la respuesta frente a la infección, así como reflexionar y discutir los desafíos presentes y futuros con algunos de los científicos más relevantes en su área de trabajo en el mundo del virus de la gripe. La comunidad científica que estudia el virus de la gripe realiza un esfuerzo muy intenso para comprender y mejorar la calidad de vida de las personas infectadas por este virus. Mediante este evento, quisimos dar visibilidad a dicho esfuerzo.

Aspectos históricos, epidemiológicos y sociales

En el marco de un simposio sobre la gripe, quisimos plantear cuatro aspectos iniciales desde los que abordar la problemática del estudio del virus. Desde este punto de vista, el estudio de la historia de un evento nos enseña con el paso de los años a

En algún momento puntual, o durante varios meses durante el año 1917 y principios de 1918, pudo haber un salto entre especies o recombinación de segmentos de una gripe procedente de aves y los segmentos de alguna gripe circulante en aquel momento que dieron lugar a un nuevo virus

contextualizarlo, a entender las interpretaciones del mismo, las manipulaciones, o los intereses que en el momento que se produjeron crearon un problema.

Estudios sobre las referencias y datos obtenidos a partir de documentos que dejaron constancia de la sociedad del año 1918 y, más en concreto, de lo que supuso la enfermedad de la gripe para aquella sociedad en las distintas regiones de España, de Europa y del mundo.

Las características fundamentales de la pandemia de gripe de 1918 fueron su extrema virulencia, en comparación con otras pandemias infecciosas, su coincidencia temporal con la Primera Guerra Mundial y su aparición en tres oleadas consecutivas entre los años 1918 y 1919, siendo la segunda de ellas las más virulenta y mortífera.

Aunque la versión más aceptada sobre el origen de la pandemia de gripe de 1918 la sitúa en infecciones de soldados estadounidenses en Fort Riley en el estado de Kansas en los Estados Unidos de América, hay datos que permiten pensar en la circulación de una cepa, o de varias cepas en diversos lugares del globo, entre otros, en Francia o en China. Estas cepas causantes de infecciones moderadas, pudieron comenzar a circular incluso en 1917.

De cualquier forma, los detonantes de la explosión pandémica del virus están asociados a la Primera Guerra Mundial. En el transcurso de la guerra, el hacinamiento de las tropas, sus paupérrimas condiciones higiénicas, la manipulación de la información en los medios de comunicación, incluida la desinformación sobre las muertes por gripe que se estaban produciendo, crearon un caldo de cultivo perfecto para que el virus

se extendiese rápidamente por Europa y por el resto del mundo. En el juego de la desinformación entre los bandos en guerra se produjeron auténticas masacres, en las que se enviaban soldados enfermos desde los Estados Unidos, que morían en el trayecto o cuando llegaban al frente enfermos, infectando a su vez a otros soldados. Se puede incluso afirmar, que el número de bajas producidas por la gripe en ambos bandos fue uno de los factores determinantes en que la guerra terminase. El silenciamiento de las bajas producidas por el virus por parte de los países de la Triple Entente en comparación con Alemania y el Imperio Austro-húngaro pudo inclinar la balanza para que estos últimos claudicaran.

La gripe de 1918 llegó a España siendo esta un país neutral en la Primera Guerra Mundial, y uno de los únicos lugares donde se informó de su alcance y dimensiones. Los países beligerantes censuraron las informaciones, y solo tras la llegada de la información desde España, otros países reconocieron el mismo problema. Al ser España el primer país en el que se reconoció el brote infeccioso, se la denominó Gripe Española. En España, la gripe se la conoció con distintos nombres como “el mal de moda” o “el soldado de Nápoles”.

La pandemia causada por el virus de la gripe tuvo tres oleadas, la primera comenzó en la primavera, y se alargó durante todo el verano de 1918. Su incidencia fue alta en lugares como Madrid, y aunque fue altamente mortífera, no lo fue tanto como la segunda oleada, que comenzó los últimos días de septiembre de 1918 y duró hasta enero de 1919. Finalmente, una tercera oleada, no tan letal como la segunda, comenzó a finales



de febrero y terminó en mayo de 1919 a la que siguieron episodios posteriores menos mortíferos.

Uno de los grandes asuntos de debate sobre la pandemia de Gripe Española es el número de muertes que causó. Numerosas publicaciones recogen números repetidos hasta la saciedad sin el suficiente contraste de información al respecto. La población del mundo en el año 1918 era aproximadamente de 1.825 millones de personas. Se estima que enfermaron de gripe entre 800 y 1.000 millones y que murieron entre 40 y 50 millones de personas. Estos números suponen que la enfermedad causada por la Gripe Española pudo acabar con entre el 2,5% y el 3% de la población mundial.

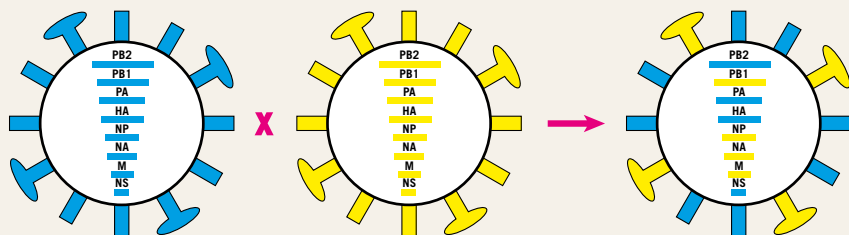
España tenía por entonces unos 20 millones de habitantes. Se estima que pudieron fallecer unas 250.000 personas, lo que supone un 1,1% de su población. La gripe no afectó por igual a todas las regiones. La mortandad más baja tuvo lugar en las provincias del sur (en Sevilla la tasa de mortalidad estuvo en torno al 0,3%), mientras que en provincias del norte como Burgos, la tasa de mortalidad se cifra en torno al 1,7%, igual que en otras provincias de Castilla y

León como Palencia, León o Zamora, que fueron las más afectada de España.

Otra de las características peculiares de la Gripe Española es que afectó principalmente, aunque no solo, a jóvenes en comparación con las gripes estacionales que afectan principalmente a personas de edad avanzada y a niños. Se sabe que la gripe estacional circulante antes de la pandemia era de un subtipo diferente (H2N2 o H3N2), y que la falta de memoria inmune en los jóvenes frente a esta nueva pandemia pudo ser una causa determinante de su alta incidencia y mortalidad.

La enfermedad causada por el virus pandémico se caracterizó por presentar unos síntomas agudos muy fuertes, entre los que destacaba unos dolores de cabeza muy intensos y una mialgia generalizada. Además, los pacientes infectados tenían cuadros de fiebre muy alta (de 40.6 a 41.1°C), con manchas de color caoba que aparecían por la cara, sangrado por la nariz y las orejas, y en los casos fatales con pulmones encharcados de sangre. En muchos casos estos pacientes presentaban neumonías muy severas, muchas de ellas neumonías bacterianas causadas por coinfecciones o infecciones

Los virus de las pandemias de gripe



Además de la gripe de 1918, ha habido otras pandemias de gripe a lo largo del siglo XX

secundarias bacterianas que se podían prolongar en el tiempo. Igualmente, era común que los pacientes que sobrevivían a la infección tuvieran secuelas neurológicas.

Los efectos del virus sobre las tropas en guerra fueron desastrosos. El comandante del ejército alemán Erich von Ludendorff describió a la enfermedad gripal de la tropa como el factor principal que influyó en el colapso de su ejército. Hay datos de un número de bajas en el ejército francés entre 10% y el 25% en la primera oleada pandémica, y de hasta el 46% de la tropa que tuvo que ser evacuada en la segunda oleada.

La pandemia cortó las líneas de suministro y causó mayor número de bajas en ambos bandos que el propio conflicto bélico. El envío de tropas americanas infectadas por el virus, pudo actuar como el agente involuntario que trajo la gripe a las tropas en Europa, causando el desastre final de la guerra. A su vez, los soldados infectados evacuados del frente infectaban a otros soldados en los hospitales de campaña y al personal sanitario que los atendía. Los soldados infectados que eran enviados de vuelta a sus hogares en distintas partes del mundo pudieron extender aún más la gripe a lugares más alejados

del frente de batalla, causando un colapso total del mundo tal como se conocía hasta entonces. Un ejemplo documentado es el de la llegada del virus al poblado de Bre-vig Mission en Alaska, que causó la muerte de 72 de las 80 personas residentes en él en aquel momento y en el que, sorprendentemente, los únicos supervivientes fueron niños y niñas menores de edad.

Los virus de las pandemias de gripe

El virus de la gripe A es un virus con su genoma de ARN fragmentado en ocho segmentos. Si una célula es infectada al mismo tiempo por dos cepas de virus distintas, los segmentos de ambas cepas pueden ser intercambiados, dando lugar a nuevos virus en los que los 8 segmentos pueden provenir, indistintamente, de una u otra cepa original. Se desconoce en exactitud qué recombinación de virus pudo dar lugar al virus de la Gripe Española. Algunos grupos sugieren que el virus de la Gripe Española pudo provenir directamente de un virus circulante en

Host range of influenza A viruses

H1							
H2							
H3							
H4							
H5							
H6							
H7							
H8							
H9							
H10							
H11							
H12							
H13							
H14							
H15							
H16							
H17							
H18							

Es de esperar que en el futuro aparezcan nuevas cepas pandémicas frente a las cuales no estamos inmunizados

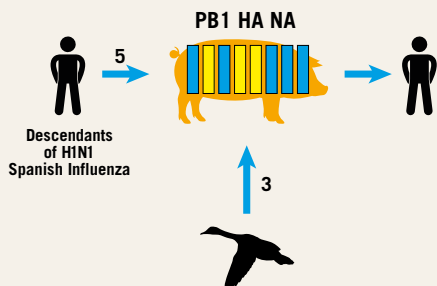
aves, mientras que otros sostienen que fue un virus resultante de la combinación de genes provenientes de un virus aviar y otro virus humano o animal circulante en aquel momento. En algún momento puntual, o durante varios meses durante el año 1917 y principios de 1918, pudo haber un salto entre especies o recombinación de segmentos de una gripe procedente de aves y los segmentos de alguna gripe circulante en aquel momento que dieron lugar a un nuevo virus. Además de eso, la nueva cepa de virus debió de sufrir una serie de mutaciones puntuales que lo convirtieron en altamente patagénico.

El virus de la gripe A puede tener 18 tipos de hemaglutinina y 11 tipos de neuraminidasa distintos. El virus de la Gripe Española

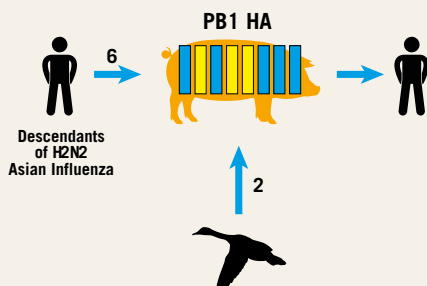
se caracterizó por tener una hemaglutinina del subtipo HA1 o H1 y una neuraminidasa NA1 o N1, generando una nueva cepa de gripe A H1N1 capaz de replicarse en humanos y distinta a las cepas circulantes hasta aquel momento, que pudieron ser de gripe A y subtipo H3N2 o H2N2.

Algo, durante la primera oleada del virus y la segunda, hizo que el virus evolucionara y se volviera altamente patagénico. Aunque se desconocen las causas que motivaron la evolución del virus, se especula que el uso de agentes mutágenos como el gas mostaza, o el gas fosfeno, pudieron influir en la generación de nuevas cepas mutantes. En el frente de batalla, el hacinamiento en las trincheras, las pésimas condiciones higiénicas, con una tropa sufriendo los rigores de

Genesis of the Asian H2N2 pandemic



Genesis of the Hong Kong H3N2 pandemic



una mala alimentación y la climatología debieron de ser factores que permitieron una rápida selección de una cepa altamente patogénica.

La aparición de cepas de virus de gripe pandémico suelen tener un origen común en aves acuáticas. De las 18 hemaglutininas distintas que se conocen del virus, 16 de ellas pueden ser encontradas en virus de gripe en aves silvestres que viven en entornos lacustres. Algunas de estas hemaglutininas pueden encontrarse también en otras especies, como ballenas, leones marinos, o especies cercanas al entorno humano, como perros, caballos y, principalmente, cerdos, muy susceptibles de ser infectados por cepas de gripe aviares y animal que puede servir de puente en la adaptación del virus entre aves acuáticas y humanos.

Además de la gripe de 1918, ha habido otras pandemias de gripe a lo largo del siglo XX. De esta forma, en febrero de 1957, se produjo un brote que provino de la provincia de Yunan, en China. Al virus causante de este brote pandémico se le denominó Gripe Asiática y terminó con la vida de en torno a 1.5 millones de personas. La pandemia se extendió rápidamente por el mundo en seis meses desplazando al virus de la gripe H1N1 circulante en aquel

momento, que era descendiente del virus H1N1 de la Gripe Española que se había adaptado a humanos.

El virus de la Gripe Asiática tuvo su origen en una recombinación de virus de gripe procedente de aves acuáticas y virus procedente de humanos que recombinó en cerdos antes de dar un salto final a humanos. Al igual que en el caso de la Gripe Española, la población humana mundial nunca había sido infectada por este nuevo virus y carecía de defensas frente al mismo, lo que motivó que una vez que el virus se adaptara a humanos, este fuera capaz de extenderse rápidamente. En ausencia de defensas, el virus causó una altísima mortandad.

En julio de 1968 surgió el tercer brote pandémico del siglo XX. Al igual que en el caso de la Gripe Asiática, se produjo en cerdos una recombinación de segmentos entre el virus de la gripe H2N2 circulante en aquel momento en humanos con una cepa de virus procedente de aves, dando lugar a un nuevo subtipo de virus denominado H3N2. Este brote se originó en Hong Kong, y de esta manera el virus recibió el nombre de Gripe de Hong Kong. El número de muertes causadas por este virus se estima que pudo estar entre 750.000 y un millón de personas en todo el mundo. Pro-

bablemente, este brote pandémico fue algo menos letal debido a que la nueva cepa del virus heredó la neuraminidasa de la gripe circulante hasta entonces, frente a la cual existía posiblemente cierta inmunidad en la población humana. El virus de la Gripe de Hong Kong, desplazó al virus de la Gripe Asiática, y ha permanecido en circulación entre humanos desde entonces.

En 1977 ocurrió un cuarto episodio pandémico que pudo tener un origen en el norte de China y al que se le denominó Gripe Rusa. El virus resultante de este nuevo brote pandémico era un H1N1 similar al que había desaparecido en 1957 tras la aparición del brote de Gripe Asiática. El resurgimiento de este virus no desplazó al H3N2 circulante en ese momento, sino que ambos virus coexistieron hasta la aparición del brote de gripe del año 2009. Este virus, cuya desafortunada denominación fue la de virus de la gripe A, fue una recombinación de distintos virus de gripe porcinos, humanos y aviáres, y a pesar de las alarmas iniciales del posible riesgo pandémico, este virus resultó ser menos letal de lo esperado.

Además de los brotes pandémicos descritos, ha habido brotes epidémicos de gripe, alguno de ellos de especial relevancia. En 1997 se produjo el primer brote en Hong Kong de un nuevo subtipo de virus denominado H5N1. Este virus es altamente patogénico en aves domésticas, y esporádicamente puede transmitirse de estas a humanos, causando un alto nivel de mortalidad en aquellas personas infectadas. Alguno de los brotes ocurridos desde entonces, en especial en el año 2005, hizo presagiar que el virus podía no solo transmitirse de aves a humanos, sino también entre humanos, generando una nueva pandemia. A pesar de algún caso esporádico, la transmisión entre humanos de cepas de virus H5N1 no es efectiva, y es uno de los limitantes que previenen que este virus haya causado una pandemia. Los casos de infección por H5N1 se han reducido notablemente tras la

introducción de la vacunación de aves domésticas en los últimos años.

En el año 2013 se produjeron varios casos de personas infectadas con una nueva cepa de virus de aves denominada H7N9. El virus ha causado la muerte de 627 personas desde su aparición, y puede llegar a ser transmisible entre humanos; experimentos llevados a cabo en hurones, el mejor modelo para estudiar la transmisión de virus entre humanos, han probado esta transmisibilidad. Este virus podía llegar a causar hasta el 30% de muertes en personas infectadas, aunque en aves domésticas, el virus no es tan patogénico como el H5N1. A pesar de ello, se ha emprendido una campaña de vacunación de aves domésticas frente al virus de la gripe H7N9, lo que ha reducido los casos de infección en humanos a anecdóticos, y no se han vuelto a reportar casos fatales.

Perspectivas futuras

Es de esperar que en el futuro aparezcan nuevas cepas pandémicas frente a las cuales no estamos inmunizados. Al mismo tiempo tenemos un conocimiento profundo de la biología viral y contamos con estrategias vacunales que son efectivas frente al virus circulante en un momento dado. A pesar de ello, la generación de dosis vacunales suficientes para controlar un brote pandémico lleva tiempo. La vacuna que se pudiera desarrollar llegado el momento no sería capaz de prevenir la muerte de las personas infectadas en el brote inicial.

Los antigripales son fármacos de respuesta rápida frente a la infección. Contamos con tres tipos de antivirales frente al virus de la gripe. La proteína viral M2 puede inhibirse con fármacos como la amantadina y la rimantadina. La neuraminidasa (NA), a su vez, puede ser inhibida por zanamivir u oseltamivir. Por último, en 2018 se ha

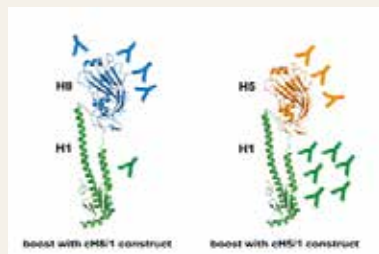
comenzado a comercializar el fármaco Baloxavir marboxil, que actúa inhibiendo la actividad endonucleasa de la subunidad PA de la polimerasa del virus. El uso generalizado de los dos primeros tipos de fármacos ha posibilitado la aparición de cepas mutantes resistentes a los mismos, aunque han sido probados como efectivos frente a los virus H5N1 y H7N9. En caso de un brote pandémico, su uso puede utilizarse para prevenir la propagación del virus.

La vacuna de la gripe se puede preparar, en la actualidad, mediante tres estrategias: el uso de cepas de virus inactivados, crecidas en huevos embrionados; el uso de cepas de virus atenuados; o el uso de proteínas virales recombinantes. Cada uno de estos tres tipos de vacunas, aunque efectivos, tiene un coste diferente y un trabajo de elaboración también diferente que hace que las vacunas que normalmente se usan frente al virus de la gripe, por su preparación más sencilla, su eficacia y su precio, sean las vacunas inactivadas.

El virus de la gripe es un virus con una alta capacidad evolutiva, siendo capaz de generar mutaciones de una manera rápida y efectiva, lo que permite al virus evolucionar rápidamente y adaptarse para evadir la respuesta inmune. De esta forma, la generación de vacunas frente al virus requiere de una reformulación nueva cada año, ya que las nuevas cepas circulantes evolucionan continuamente mediante un proceso denominado deriva genética. Además de eso, la vacuna frente al virus de la gripe está compuesta por tres virus de la gripe distintos, una cepa de gripe A H1N1, una cepa H3N2 y un cepa de gripe B. En algunos casos para la gripe B pueden elegirse dos cepas del clado A y del clado B, principales variantes del virus de la gripe B, como en el caso del año 2018.

El tiempo que transcurre desde la elección del diseño de una vacuna hasta la finalización de su manufactura puede tomar hasta seis meses, lo que requiere que para

Monómeros de hemaglutinina quiméricos como estrategia hacia la generación de una vacuna universal frente al virus de la gripe A



La vacunación con una cepa vacunal que tuviera una hemaglutinina artificial compuesta por una cabeza de hemaglutinina HA8 y un tallo de HA1, generaría una mayor cantidad de anticuerpos frente a la cabeza del virus, sin embargo, sucesivas vacunaciones con virus en los que el tallo permaneciese invariable pero se modificase la cabeza del virus, reestimarían la producción de anticuerpos frente al tallo, en detrimento de la cabeza de la hemaglutinina. Imagen cedida por el Dr. Peter Palese (con modificaciones).

una vacunación estacional haya que predecir y elegir las cepas que van a circular en varios meses. Este hecho propicia que muchos años las cepas seleccionadas para preparar la vacuna no sean las más óptimas y la vacuna no sea tan efectiva. En el caso de que un nuevo brote pandémico del tipo de la Gripe Española, el tiempo necesario para generar una vacuna no impediría la infección y muerte de muchas personas. Por tanto, es necesaria la generación de nuevas vacunas más efectivas frente al virus y que puedan proteger frente a posibles nuevas cepas.

La hemaglutinina del virus de la gripe es una de las proteínas que el virus presenta en su superficie y la encargada de unirse a ácidos siálicos que actúan como receptor en la célula a la que el virus va a infectar. La hemaglutinina consta de tres subunidades

El diseño de una nueva vacuna universal frente al virus de la gripe pasa por dirigir la respuesta inmune del paciente frente a zonas conservadas de la hemaglutinina y la neuroaminidasa del virus

idénticas de la proteína. En términos estructurales, la hemaglutinina consta de un cuerpo o tallo y una cabeza, formando una estructura que pudiera asemejar una seta. La cabeza de la hemaglutinina, encargada de unirse a los ácidos siálicos es también la zona frente a la cual se produce una mayor respuesta inmune, principalmente mediada por la producción de anticuerpos, y también la zona más variable del virus desde un punto de vista evolutivo. En cuanto al tallo, que une la cabeza a la membrana del virus, la hemaglutinina presenta una menor variabilidad y es también una zona poco inmunogénica.

Una estrategia vacunal que incrementase la respuesta mediada por anticuerpos de la zona conservada del tallo de la hemaglutinina, podría ser una buena estrategia para incrementar la respuesta frente a distintas cepas del virus, ya que esta zona conservada serviría como elemento común frente al que dirigir la respuesta.

Los grupos de investigación del profesor Adolfo García-Sastre, el profesor Florian Kramer y el profesor Palese llevan años trabajando en una nueva estrategia de vacunación frente al virus de la gripe que consiste en la administración secuencial de distintas cepas de virus para estimular la respuesta inmune frente al tallo de la hemaglutinina del virus, una zona muy conservada entre distintos tipos de gripe A, incluidas las cepas H1N1, H3N2, H5N1 o H7N9. Esta estrategia es efectiva en animales de experimentación.

En un futuro, los ensayos clínicos en pacientes con las cepas vacunales descritas permitirán saber si esta estrategia que funciona en ratones de laboratorio, funciona también en humanos, así como el grado de eficiencia. Según su secuencia, existen dos

Tipos de hemaglutininas de virus de la gripe agrupadas según la homología de su secuencia

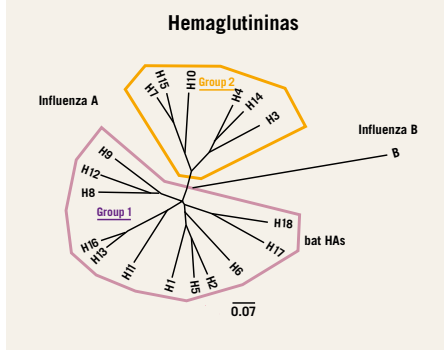


Imagen cedida por el Dr. Peter Palese.

principales familias de hemaglutininas de la gripe A, en una de ellas está el virus de H1N1 y en otra el H3N2. No sabemos si la estrategia de vacunación con virus quiméricos será necesaria para uno o para los dos tipos de virus.

La esperanza de poder prevenir y poder curar la gripe, una enfermedad letal sobre todo en edades avanzadas, sigue siendo, después de 100 años un tema muy relevante en la sociedad. A pesar de los enormes esfuerzos en la comunidad científica en el avance del conocimiento de la enfermedad, existen unos pilares muy sólidos para combatir la gripe. Una nueva pandemia no causaría los números de fallecidos durante la Gripe Española de 1918, pero sí que podría matar a muchas personas. Tenemos aún un amplio camino que recorrer para que algún día logremos controlar la infección por el virus de la gripe de una manera efectiva.

BIG DATA

AL SERVICIO DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS OCÉANOS



El director del Centro de Investigación del Mar Rojo, el oceanógrafo español Carlos Duarte, ofreció en la Fundación Ramón Areces una conferencia dentro del ciclo organizado con la Sociedad Geográfica Española. En ella explicó cómo la revolución tecnológica está permitiendo dar un paso de gigante en el conocimiento de la vida marina.

CARLOS BUENO

"El océano siempre ha sido un campo muy escaso en datos. La tecnología nos está ayudando a cambiar ese escenario"

"El océano siempre ha sido un campo muy escaso en datos, costaba mucho conseguirlos, sobre todo en el océano profundo. La ciencia dependía mucho de la especulación porque esos datos se contaban con los dedos de una mano. Sin embargo, en los últimos años, el panorama ha cambiado. Gracias al desarrollo de sistemas de adquisición masiva de datos -a través de sensores y smartphones- asistimos a un nuevo escenario". Con estas palabras resumía el oceanógrafo español, Carlos Duarte, el actual estado de la exploración de los mares. El actual director del Centro de Investigación del Mar Rojo, en Arabia Saudí, visitó la Fundación Ramón Areces para participar en el ciclo que organizamos con la Sociedad Geográfica Española sobre 'La exploración de los océanos'. Su conferencia llevó por título 'La aventura de medir la salud de los océanos: Big Data y revolución tecnológica para la investigación de los océanos'. Durante su visita, este investigador explicó que está dedicando buena parte de su tiempo a convencer a sus colegas ingenieros para que desarrollen sensores y herramientas de análisis masivo de datos. Quiere Duarte que estos técnicos vuelquen su experiencia en el diseño de aplicaciones para explorar el océano. Como fruto de esa colaboración, ya ha conseguido poner en marcha muy distintos proyectos de investigación colocando sensores en delfines, elefantes marinos y tiburones ballena. Esos dispositivos están permitiendo a Duarte y a su equipo entender mucho mejor la vida bajo el mar, cómo es su relación con ese espacio aún tan desconocido, cómo se comportan estos animales, cómo aprovechan ese medio para desarrollar su vida después de millones de años de evolución.

"Es una aventura interesante porque el océano era un campo al que no había lle-

gado esta revolución del Big data y se están obteniendo resultados revolucionarios. Estamos aprendiendo muchas cosas nuevas de la vida íntima de los animales y de cómo usan el océano". Añade Duarte que una de las claves que marca esta revolución 4.0 es el Internet de las Cosas -IoT por sus siglas en inglés- y esa conectividad entre todo tipo de elementos. "Nos faltaba también que se incluyeran los animales marinos. Para ello, hemos desarrollado una nueva generación de sensores que son cómodos de portar por estos animales y que nos informan sobre la salud y el comportamiento de estos seres vivos", añadió.

Desafío tecnológico

Los trabajos para recolectar todos esos datos que permitan después sacar conclusiones no es sencillo. Basta recordar que estos nuevos sensores tienen que desarrollar su función en agua salada, que es muy corrosiva, a altas presiones, a largas distancias, a muy bajas profundidades con muchas atmósferas de presión... Para ello, el oceanógrafo español y su equipo de ingenieros han desarrollado sensores de silicona biodegradables, que incluso crecen al mismo tiempo que los animales. Entre sus objetivos, buscan reducir al mínimo el tamaño de la batería, el único elemento contaminante, que no es biodegradable. Incluso están investigando la manera de hacer desaparecer la batería y que el sensor se alimente de la energía cinética, con el movimiento del propio animal que lo transporta. En cuanto al coste, también se ha ido reduciendo hasta los cinco euros por sensor. Para su fabricación emplean grafeno, un material que no se corroe. En un

"Los animales marinos, con sus sensores, se están convirtiendo en los nuevos exploradores de los océanos"

momento de su conferencia en la Fundación Ramón Areces, Duarte se sorprendió a sí mismo: "¿Quién me iba a decir a mí que iba a publicar artículos en revistas de ingeniería!". "A todas esas complicaciones que conlleva la exploración submarina, hay que añadir que, por ejemplo, los delfines renuevan la piel continuamente, por lo que si se le adhiere un sensor de silicona, a las pocas horas lo habremos perdido". Así, según el animal del que se trate, hay que buscar un sistema distinto para colocarle el sensor. En el caso de los delfines, se lo instalan agarrado a la aleta, en las tortugas emplean sistemas magnéticos, para otros utilizan una especie de ventosa... Gracias a esos sensores, Duarte ha logrado ya captar el registro de un elefante marino a 1.700 metros de profundidad.

También la instalación de estos dispositivos le ha permitido conocer comportamientos animales curiosos. En el caso de los elefantes marinos, se ha descubierto que realizan viajes de 15.000 kilómetros durante los ocho meses que dura el embarazo de las hembras. "Solemos verlos holgazaneando en las playas de California y ahora comprendemos que tienen motivos reales para descansar después de tan larga travesía", justificó Duarte. "Durante esos ocho meses, cuando se duermen, caen hacia el fondo del océano con el mismo movimiento oscilante de una hoja en otoño. En el momento en el que sus oídos detectan que la presión es demasiado alta, se despiertan y vuelven hacia la superficie". Todo esto lo han conocido después de colocar sensores en un grupo de 50 elefantes marinos.

También, gracias a esos sensores adheridos a la piel de los elefantes marinos, se ha sabido que en el grupo hay un animal que ejerce de líder y que es capaz de mantener la comunicación con el resto de la colonia aunque estén separados entre ellos mar adentro

por cientos o incluso miles de kilómetros. "Cuando ese líder da la orden, todos inician al mismo tiempo su regreso a la costa. Se ha sabido también que ese momento justo coincide con el equinoccio de otoño. El líder identifica a la perfección cuándo el día y la noche duran exactamente lo mismo, un fenómeno común a los distintos husos horarios por los que pueden estar repartidos sus compañeros. Por los mapas de situación de estos animales en tiempo real hemos observado cómo coordinan la vuelta", explica Duarte. También gracias a esos sensores en elefantes marinos han sido capaces los científicos de conocer otros muchos rasgos de su etología. Y también, de paso, cómo se iban formando las capas de hielo bajo el Ártico, un lugar prácticamente inaccesible para el hombre. "Estos animales, con sus sensores, se están convirtiendo en los nuevos exploradores de los mares", añadió.

Sensores amigables

Para llevar a cabo este trabajo de sensorización del mar, el equipo que dirige Duarte sabe que tiene que ser muy cuidadoso para alterar lo mínimo la actividad de los animales que desean observar. La propia naturaleza parece rebelarse contra ellos: "Con las ballenas nos fue imposible. Le colocamos un sensor de ventosa y en seguida se lo quitó. Se lo pusimos a otra en otra zona en la que no se lo pudiera desprender y mandó una señal de alarma a otras ballenas para que fueran a quitárselo, algo que hicieron encantadas". Otros animales en cambio, dan todas las facilidades, como las tortugas. En ellas es posible instalar más de un sensor, por ejemplo uno sobre el caparazón y otro en una aleta. Así, según la posición en la que

"La bioinspiración nos enseña cómo los animales han solucionado problemas tras millones de años de evolución"

estén, pueden conocer cuándo está nadando, cuándo comiendo...

El oceanógrafo se muestra bastante optimista sobre la evolución de la conservación de estos espacios naturales. Así, valoró algunos de los hitos conseguidos en los últimos años. "Hace 20 años apenas quedaban 20 ejemplares de estos elefantes marinos y hoy superan los 200.000, lo que demuestra que hemos hecho las cosas bien y la capacidad de recuperación de la naturaleza. Lo mismo sucedió con la población de ballenas jorobadas, que ha pasado de 300 a 45.000 ejemplares". En una entrevista previa a su conferencia, admitió que hemos tenido problemas importantes en el océano porque actividades humanas habían provocado contaminación, pérdida de hábitats, sobrepesca... "Pero también todo ello nos ha permitido aprender más sobre el océano y sobre cómo solucionar estos problemas. En estos momentos, nos encontramos en una ventana de oportunidad de diez años en la que sabemos lo suficiente para devolver al océano al estado en el que estaba antes de

tado saludable, habremos perdido esa oportunidad".

Aprender de la naturaleza

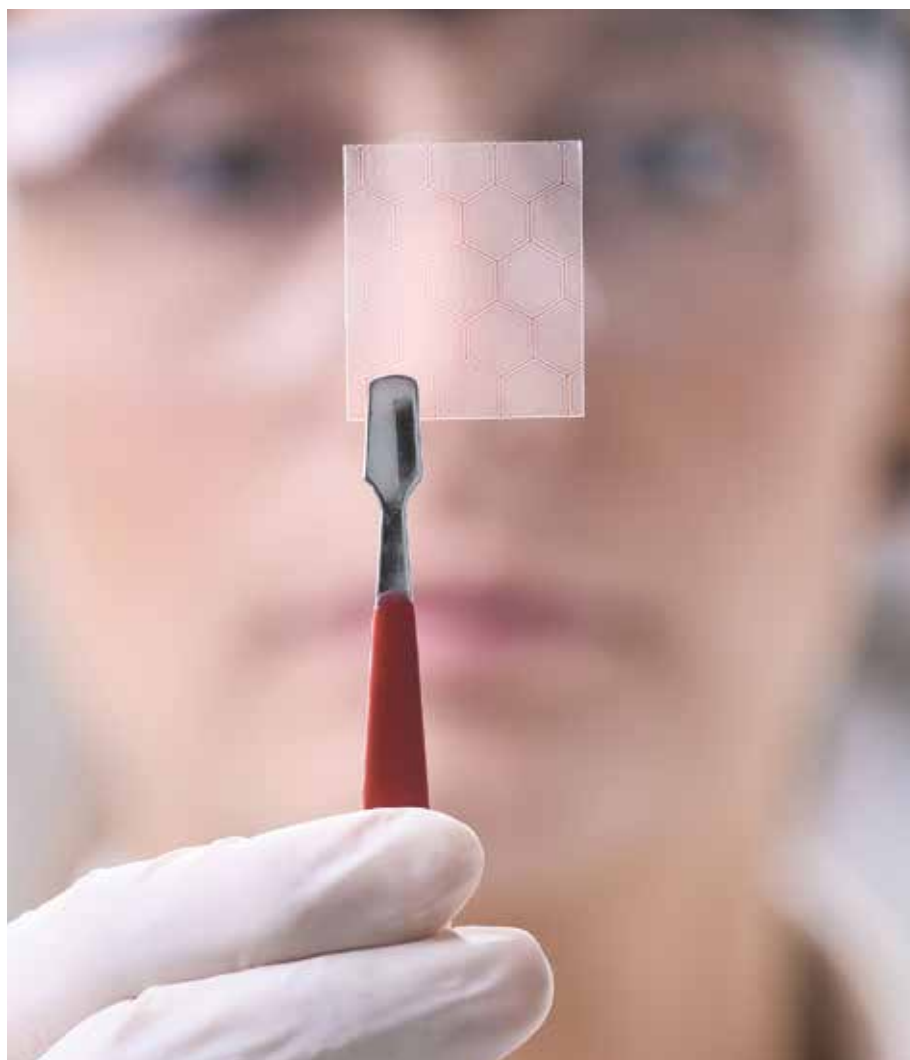
Carlos Duarte también habló de la bioinspiración, un nuevo campo muy importante para la exploración científica. "Podemos inspirarnos en sistemas que han generado los animales durante su evolución para resolver sus problemas y aplicarlo en múltiples campos. Así, por ejemplo, los eficientes movimientos de las medusas se han exportado a nuevos sistemas de propulsión de naves espaciales. Estamos estudiando el único insecto que ha conseguido colonizar el océano abierto, el alobates, intentando ver cómo se mantiene siempre seco en un entorno de constantes tormentas... También la almeja gigante cuenta con un manto muy espectacular realizado a partir de cristales de un aminoácido con propiedades ópticas únicas y que podría brindarnos muchos desarrollos en fotónica. Entre otras aplicaciones, podríamos encontrar nuevas soluciones para la iluminación interior y exterior, y también para transmitir datos a través de la luz, lo que podría convertirse en el sucesor del Wi-Fi, utilizando la luz en lugar de las radiofrecuencias".

Para el director del Centro de Investigación del Mar Rojo, la tecnología también está permitiendo desarrollar muchas aplicaciones que permiten a ciudadanos participar y colaborar en el avance del conocimiento científico a través de los móviles. "No es raro encontrar noticias de niños en la escuela que han hecho algún descubrimiento a partir de algunas evidencias que han encontrado con sus propios teléfonos móviles. Esto ayuda también a democratizar la ciencia", aseguró.



mediados del siglo XX y de poder revertir esa situación a unos costes razonables. Sin embargo, si no tomamos estas medidas en esta década para devolver al océano a ese es-

ACERCA DE
LA SUPERCONDUCTIVIDAD
Y DE SUS RECIENTES PROGRESOS¹



MIGUEL ÁNGEL ALARIO
Universidad Complutense de Madrid

1. Introducción

1.-1 Propiedades Eléctricas de los Materiales Superconductores

El fenómeno físico de la superconductividad –una exótica² propiedad de algunos materiales– fue descubierto de manera inesperada en el célebre Laboratorio de Leiden (Países Bajos) en 1911, por el físico

hasta, el cero absoluto. Lord Kelvin suponía que, a partir de una cierta temperatura, las cargas se repelerían y la resistividad aumentaría. Por su parte, James Dewar suponía que, en esas condiciones, la resistividad desaparecería. Sin embargo, Matthiessen sugería que al enfriar se alcanzaría un límite que dependería de la pureza del material y de sus defectos. Los experimentos de K.-Onnes sobre la resistencia de varios metales con diferentes grados de pureza confirmaron las ideas de Matthiessen, figura 1, observando

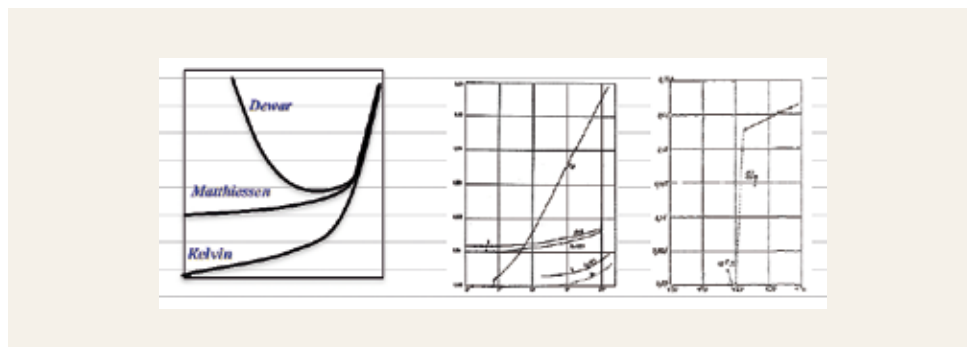


Figura 1. (Izq.) Representación esquemática de la variación de la resistividad con la temperatura, al enfriar los metales, según los tres modelos clásicos. (Centro) Variación de la resistividad de diferentes metales según su grado de pureza; (Der.) variación de la resistividad del mercurio con la temperatura de acuerdo con los experimentos de H. Kamerling-Onnes.

holandés Heike Kamerling-Onnes, en cuyo laboratorio se observó, por vez primera, que el Mercurio, un material por cierto poco corriente³ no mostraba resistencia al paso de la corriente eléctrica cuando se le sumergía en helio líquido, esto es, cuando se le enfriaba por debajo de unos 4 grados kelvin.

Previamente, K.-Onnes había conseguido licuar el helio, tras lo cual abordó el interesante problema de la evolución de la resistencia de los metales al ser enfriados a muy bajas temperaturas. Un problema que, en aquel momento, estaba entre los más destacados de la Física y cuya resolución estaba lastrada por la ausencia de refrigerantes suficientemente fríos.

Tres modelos trataban de predecir cuál sería el comportamiento de la resistencia eléctrica al enfriar los metales hacia, que no

efectivamente que el límite de aquella dependía de este. Esos experimentos mostraban, además, algo mucho más importante, en el caso del mercurio, el límite de esa resistencia era, efectivamente, cero. El Premio Nobel de Física vino a coronar, en 1913 el trabajo de Onnes y su equipo, si bien en sus publicaciones figuraba habitualmente como único autor⁴.

El estudio de la superconductividad pasó, rápidamente, a ser un tema de mucho interés en la Física de lo que ya comenzaba a denominarse *materia condensada* y, el siglo que comenzaba, “*La Edad de los materiales*” en afortunada frase de J.J. Thomson- descubridor del electrón y Premio Nobel en 1906.

Poco después se descubrieron nuevos elementos superconductores, Pb, Nb... y

así hasta llegar a los 30 elementos superconductores que se conocen actualmente a la presión ordinaria. Ulteriormente y a lo largo de los años, la utilización de la presión —que, como se verá, ha sido fundamental en el descubrimiento de nuevos materiales superconductores— ha llegado a duplicar el número de elementos superconductores con otros 29 casos. El primer experimento de este tipo tuvo lugar en el propio laboratorio de Leiden; se observó así el, algo decepcionante, resultado de una *disminución* de la temperatura crítica del estaño de 5 mK bajo una presión, ciertamente modesta, de unas 300 atmósferas. En tiempos más recientes, sin embargo, con un manifiesto incremento en las posibilidades de utilizar mucho más altas presiones, se ha conseguido alcanzar los 5,3 K a 11.3 GPa en el propio estaño; eso en los elementos... Veremos más adelante cuánto han mejorado las cosas en estos cien años.

La influencia de la presión ha sido, y es, muy significativa, como se irá percibiendo a lo largo de este artículo, en la obtención de muy elevadas temperaturas críticas y en muy diversos tipos de materiales. Y en lo que se refiere a la marca de temperaturas críticas, se han alcanzado los 20 K para el litio, el más ligero de los metales, a una presión de 48 GPa —equivalentes a casi medio millón de atmósferas— y los 29 K para el calcio —a 216 GPa que constituye la temperatura crítica más alta conseguida para un elemento químico. Enseguida llegó el turno a los compuestos químicos que presentan esta propiedad; entre los primeros destacan el óxido y el nitrato de niobio que, recordemos, es el elemento de mayor T_c a la presión ambiente. En el momento actual, la temperatura crítica absoluta más alta es no menos de 8 a 10 veces mayor.

Otra característica destacada de la superconductividad es la cantidad y, más aun, la variedad de especies químicas que la presentan, ya sea en su estado natural, ya sea bajo presión. Y así, metales, semiconductores,

aislantes, especies moleculares o no moleculares, sólidos, líquidos o gases pueden hacerse superconductores en condiciones adecuadas de condensación.

1.-2 Propiedades Magnéticas de los Materiales Superconductores

Aunque la propiedad más habitualmente considerada al hablar de superconductores es la resistencia eléctrica —o su ausencia—, son aun más importantes sus excepcionales propiedades magnéticas. La interacción de un campo magnético, representado en la figura 2 por sus líneas de fuerza, con la materia es esencialmente de dos tipos: si el sólido es ligeramente atraído por el campo magnético, hablamos de *Paramagnetismo*, mientras que si el campo magnético es repelido se dice que el material es *Diamagnético*.

En el primer caso, el material posee electrones desapareados y desordenados que se orientan a favor del campo. Ejemplo de ello es el oxígeno molecular que, en los estados líquido o sólido además de poseer color azul es atraído por un campo magnético. En muchos casos, todos los electrones desapareados están orientados de la misma manera, incluso en ausencia del campo magnético, lo que da lugar a un magnetismo colectivo que recibe el nombre de *ferromagnetismo* ya que el paradigma de ese tipo de especies químicas es el hierro; pero hay multitud de sustancias ferromagnéticas que no tienen hierro. También ocurre con frecuencia que no todos los espines están orientados en una sola dirección, sino en dos o más y en igual o diferentes proporciones y sentidos análogos u opuestos. En esos casos se habla de *antiferro-* o *ferrimagnetismo*. Y hay variantes aun más complejas.

En el caso del diamagnetismo, sin embargo, todos los electrones están apareados y, por un efecto mecano-cuántico, el campo magnético externo induce en el interior del sólido un campo opuesto al campo externo, lo que da lugar a esa repulsión. En ella se basa el fenómeno de levitación magnética.

El fenómeno desaparece cuando se retira el campo externo. El diamagnetismo es una propiedad característica de todas las especies químicas, también de las que presentan los otros tipos de magnetismo, incluso el colectivo, y hay que tenerlo en cuenta en la determinación precisa de las propiedades magnéticas.

Por lo que se refiere a los materiales superconductores, presentan el diamagnetismo en estado sumo, denominado a veces *superdiamagnetismo*. En el estado superconductor el material expulsa las líneas de fuerza del campo magnético externo, y ello tiene lugar independientemente de la manera en que se alcance dicho estado lo que indica que es un estado termodinámico, figura 2. Por ello, la temperatura de transición al estado superconductor es una *temperatura crítica*. Meissner y Ochsenfeld descubrieron este fenómeno en 1933, veintidós años después del descubrimiento de K-Onnes. Se denomina efecto Meissner, sin embargo, a la expulsión del campo magnético del interior del material superconductor cuando este se enfría por debajo de la temperatura crítica, una vez penetrado por el campo exterior. Este fenómeno fue explicado por los hermanos London como debido al apantallamiento provocado por corrientes eléctricas superficiales que generan un campo magnético que cancela exactamente el campo externo.

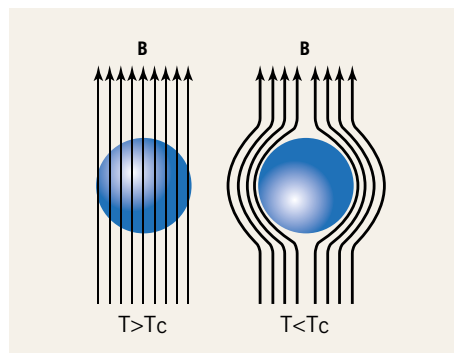


Figura 2. Interacción del campo magnético con un material no superconductor por debajo y por encima de la temperatura crítica (esquema de Piotr Jaworski en Wikipedia).

Esas corrientes denominadas de Foucault o parásitas, se generan en un conductor cuando se introduce en un campo magnético y, al no presentar resistencia el superconductor, resultan permanentes, esto es, no decaen mientras no se retire el campo externo.

En realidad, cuando se introduce un material superconductor en un campo magnético pueden pasar una de dos cosas, y aparecer uno de dos tipos bien distintos de materiales superconductores:

1) Que al aumentar el campo externo B_{ap} el campo inducido B_i aparezca únicamente a un cierto valor que constituye el campo crítico H_c ; a partir de ahí la superconductividad desaparece y el proceso es reversible: Al decrecer el campo externo reaparece la superconductividad. Esto ocurre en los llamados Superconductores de Tipo I.

2) Que al aumentar el campo externo B_{ap} , el campo inducido B_i aparezca a un cierto valor B_{i1} a partir del cual sigue creciendo, sin que desaparezca completamente la superconductividad, hasta que se alcanza un segundo campo crítico B_{i2} . En la región entre B_{i1} y B_{i2} , el campo magnético penetra progresivamente de manera creciente en el superconductor. Más aún, el proceso no es reversible y al retirar el campo aplicado no desaparece completamente el campo inducido, como ocurría en 1) sino que queda atrapada una cierta parte del mismo. Ello permite que los campos críticos de los superconductores del Tipo 2, sean mucho más grandes que la de sus congéneres del Tipo I y, gracias a ello, que tengan muchas más aplicaciones.

La penetración del campo aplicado tiene lugar por medio de vórtices, o remolinos magnéticos, análogos a los que se observa cuando dejamos salir un líquido por un desagüe.

1.-3 Evolución histórica de la superconductividad

A lo largo y ancho de los casi 110 años que han pasado desde el descubrimiento de la superconductividad, el desarrollo de

nuevos materiales SC y su conocimiento, así como la interpretación teórica de sus propiedades han pasado por diferentes momentos de mayor o menor actividad y con el fin de relatar, ya sea brevemente, este amplio periodo cronológico, hemos separado su presentación, de manera algo arbitraria, en seis periodos, cada uno de los cuales pasamos a considerar:

Primer Acto: Del Mercurio al Nb_3Ge : 1911 a 1970. $T_c \leq 23$.

Primer Entreacto: La travesía del desierto: 1970-1986.

Segundo Acto. Superconductores de Alta Temperatura 1986-1994. $T_c \leq 164$
Segundo Entreacto: Miscelánea: 1994-2008.

Tercer Acto: Pnicturos 2008-2014.
 $T_c \leq 54$.

Cuarto Acto: Hidrógeno e Hidruros (1935; 1964-momento actual -2018).
 $T_c \leq 203$.

1.-3/1 Primer Acto: Del Mercurio al Nb_3Ge : 1911 a 1973. $T_c \leq 23$

En este periodo, tras el descubrimiento del mercurio, se fueron estudiando los elementos metálicos, observándose que el niobio es el que presenta la temperatura crítica más alta, 9.25 K. En el momento actual se conocen, como decíamos, 52 elementos superconductores, 23 de ellos bajo presión.

Enseguida se empezaron a estudiar compuestos químicos, los primeros óxidos –empezando por el NbO , T_c 1.38 K ¡qué decepción!- -después los nitruros –empezando por el NbN T_c 16 K ¡qué satisfacción!- una temperatura mucho más alta que el metal, lo que daba un impulso importante a la química en el campo de los superconductores aunque parecía que los óxidos no eran un buen camino...

El paso siguiente fueron los compuestos intermetálicos y en particular muchos de ellos que cristalizaban con una estructura común, la del Nb_3Sn (T_c 18.3 K) y los in-

termetálicos de ese tipo alcanzaron su límite con el Nb_3Ge (T_c 23.2K). Y este fue el límite absoluto de temperaturas críticas durante más de trece años. No obstante, como se trataba de metales, o sea materiales dúctiles y maleables, permitieron, con facilidad, la extrusión de hilos y a partir de ellos bobinas, y con las bobinas ya se podían hacer imanes muy potentes y ello acabó llevando a avances tecnológicos de la importancia de la Resonancia Magnética Nuclear –de enorme utilidad en el laboratorio y en la clínica y, entre otras muchas, al muy publicitado tren de levitación magnética. Uno de ellos funciona aún en el trayecto de Shanghái a su principal aeropuerto. Conviene destacar que, con estos materiales, bien interesantes, es necesaria la utilización de helio líquido, lo que encarece mucho su utilización. Para dar una idea del precio se suele decir que un litro de nitrógeno (a 77 K) vale como una botella de cerveza, mientras que uno de helio vale lo que una de buen champán...

1.-3/2 Primer Entreacto: La travesía del desierto: 1973-1986

Así pues, entre 1940 y 1973, si bien la superconductividad había entrado con fuerza en la Física, el progreso de la temperatura crítica era de unos tres grados por década: La temperatura ambiente quedaba, pues, lejos...muy lejos. Y aunque la superconductividad se seguía estudiando, y las aplicaciones seguían desarrollándose era un periodo de menor entusiasmo por el tema. Se dice a este respecto que el célebre físico francés, Pierre Gilles de Gennes, autor de importantes trabajos y de uno de los mejores textos sobre la materia declaró: *“la superconductividad está acabada”*.

En todo caso, en 1991 recibió el Premio Nobel de Física por el conjunto de sus trabajos, incluyendo los de superconductividad.

1.-3/3 Segundo Acto. Superconductores de Alta Temperatura 1986-1994. $T_c \leq 164$

Aunque, como ya hemos mencionado,

en el periodo anterior se había descubierto un óxido mixto superconductor con la estructura perovskita, la solución sólida $\text{Ba}(\text{Pb}_{1-x}\text{Bi}_x)\text{O}_3$, la enorme importancia de esa estructura para la superconductividad, ya lo era en Química y Ciencia de Materiales, no se puso de manifiesto hasta al descubrimiento por Bednorz y Muller de que otra solución sólida⁶ derivada de aquella y de fórmula general $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Cu}_2\text{O}_4$, (conocido como BALACUO) era el primero de los celebrados *Cupratos Superconductores de Alta Temperatura*⁷. Efectivamente, medidas de resistividad –pero no medidas magnéticas– mostraron la presencia de superconductividad por debajo de unos 30 K. Otros dos elementos Alcalino Téreos, Ca, y Sr daban transiciones similares y, como se vio después, el La también podía sustituirse por muchos otros elementos de las Tierras Raras. Así pues, en este trabajo se descubría, en realidad, a una *familia*⁸ de soluciones sólidas con una fórmula general del tipo $\text{TR}_{1-x}\text{AT}_x\text{CuO}_4$ y, más concretamente: $\text{La}_{2-x}\text{M}_x\text{CuO}_4$ (M = Ba, Sr, Ca, K, Na) y en la que el lantano también se puede sustituir por otros elementos.

Como era de esperar, estas sustituciones –y muchas otras por venir– daban lugar a *notables modificaciones* en las propiedades de todo tipo: estructurales, electrónicas, térmicas... lo que, además de enriquecer el sistema y ampliar la posibilidad de obtener muchos –¡muchísimos!– nuevos materiales, iba originando crecientes dificultades teóricas, que aún persisten para explicar la superconductividad.

Hay que señalar que, este trabajo, supuso el punto de partida de una auténtica revolución, algo tímida al principio, por la moderada indecisión que el propio título sugería y la modesta difusión de la revista en que fue publicado, pero paulatinamente creciente. Aparte de las sustituciones ya mencionadas –que los mineralógos acostumbraban a llamar isomorfás– la presión también se utilizó con el fin, obvio, de incrementar

Tc. Y ambas dieron buenos resultados. La sustitución de Ba por Sr (Tc creció de ~ 30 a ~ 36 K) y la de alta presión mecánica llevó a este a los ~ 50 K en $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$. Un no desdeñable ~ 20 %.

Pero las cosas no se iban a parar ahí y, precisamente, tratando de sustituir al lantano con ytrio, apareció⁹ (casi me atrevería a decir “se apareció”)¹⁰ el material más famoso de la segunda mitad del siglo XX: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, habitualmente abreviado a Ybacuo en español y a YBCO en lengua inglesa. Este extraordinario material presenta una temperatura crítica superior al punto de ebullición del nitrógeno y que depende de manera tan compleja como interesante de la cantidad de oxígeno que contiene. La significación de este descubrimiento no realmente fortuita, pero sí inesperada, un caso, pues, de *serendipia* –en español carambola– significó que el fenómeno de la superconductividad dejaba de “pertenecer” a la física de las bajas temperaturas y se convertía en un capítulo más de la Física y de la Química del Estado Sólido y aún de la Ciencia de Materiales, dado que su preparación, observación y estudio devenían procesos sencillos, accesibles a la mayoría de los laboratorios de ciencias.

En la figura 3a se recoge la evolución con la temperatura del primer material superconductor de este tipo preparado en España¹¹ y en la 3b la estructura cristalina del mismo.

Puede observarse, con nitidez, la transformación Metal/Superconductor al decrecer la temperatura. Y este Ybacuo ha sido, y sigue siendo, objeto de todo tipo de estudios con cuantas técnicas experimentales son adecuadas y analizado con multitud de modelos teóricos¹². Como podía imaginarse, la búsqueda de materiales superconductores no se quedó ahí, muy al contrario, con imaginación, esfuerzo y la participación de cientos de laboratorios de todo el mundo, la temperatura crítica fue subiendo paulatinamente como lo fue el número de materiales – a partir de entonces llamados Supercon-

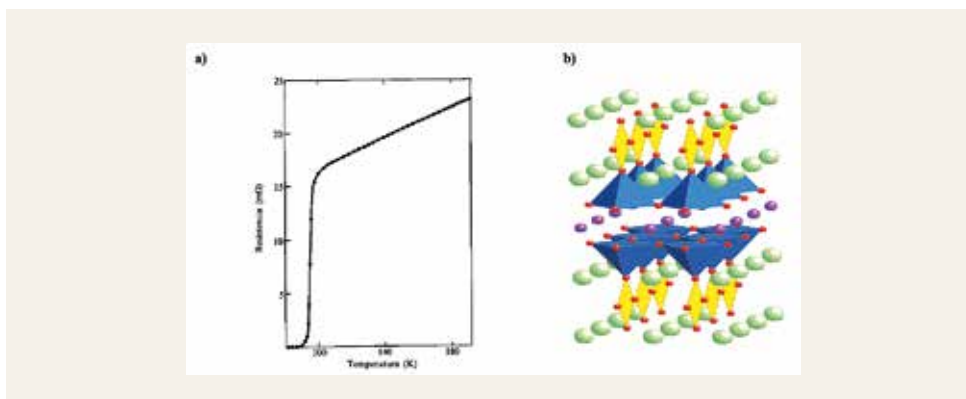


Figura 3. Evolución de la resistividad eléctrica con la temperatura en el material $\text{Ba}_2\text{SmCu}_3\text{O}_7$ (T_c 96.5 K; Temperatura crítica récord en su momento).

ductores de Alta Temperatura (SCAT pero más comúnmente con su acrónimo en inglés HTSC, *High Tc Superconductors*).

Y en esta auténtica carrera, en la que se entremezclan patentes y publicaciones¹³ poco a poco se han ido alcanzando récords para diferentes composiciones químicas que, todas, tenían en común la presencia de planos Cobre-Oxígeno, los formados por las bases de las pirámides de la figura 3b. De este modo, y “sin tocar” dichos planos, pero variando su número por celda unidad, pero sí el resto de los cationes de la estructura se han obtenido diferentes familias de cupratos con temperaturas crecientes: así se habla de la familia del bismuto ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ con $n = 1, 2$ and 3) con $T_{c\text{max}} = 110$ K, las dos del talio... y, por fin, la de los cupratos de mercurio: $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+3}$, en la que el compuesto con $n = 3$: $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ preparado por Schilling et al en 1993, resulta ser el material con mayor temperatura crítica determinada hasta ahora a la presión atmosférica: $T_{c\text{max}} = 135$ K.

Por otra parte, en todas estas familias de cupratos superconductores, al aumentar el número (n) de planos $[\text{Cu-O}_2]$ crece la temperatura crítica, figura 4.

Desafortunadamente, sin embargo, se produce una saturación a partir del término tres y decrece T_c . Sin embargo, bajo pre-

sión, el término $n = 3$ alcanza una T_c de 160 K; récord durante muchos años.

Así pues, siete años después del citado descubrimiento de Bednorz y Muller, la temperatura crítica máxima se había multiplicado por 4 con relación al Balacuo y actualmente, o sea veinticinco años después, ahí sigue para los cupratos. Efectivamente, hasta ahora, no se ha encontrado ninguna otra especie química con mayor T_c a la presión ambiente. Ello no quiere decir, sin embargo, que T_c no haya subido, sino que lo ha hecho en condiciones más complejas. En particular, por medio de presión mecánica o de radiación electromagnética, como veremos en su momento.

1.-3/4 Segundo Entreacto: Miscelánea: 1994-2008

Así pues, a partir de 1994, aunque la búsqueda y el estudio de superconductores continuó, si bien con intensidad moderadamente decreciente, y se encontraron bastantes nuevos materiales superconductores y de variados tipos, la marca de 135 K no ha sido superada. Ello no impide para que entre esos nuevos superconductores haya materiales extremadamente sugerentes.

En esta breve miscelánea, podemos destacar los Ruteno-Cupratos $\text{RuSr}_2\text{RE Cu}_2\text{O}_8$: con $T_c \sim 35$ -51 K, que presentan la muy

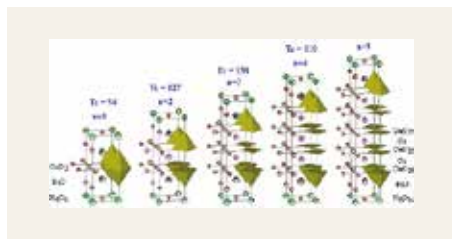


Figura 4. Estructuras de los diferentes miembros de la familia de los cupratos de mercurio. $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+3}$.

interesante y poco frecuente coexistencia de superconductividad y magnetismo, figura 5¹⁴ que, en general se consideran incompatibles; los *nitrohaluros* MNCI ($\text{M}=\text{Zr}, \text{Hf}, \text{Ti}$), como M_xHfNCI : $\sim 15\text{-}25\text{ K}$ donde se puede controlar T_c controlando las dimensiones estructurales y el número de portadores; los compuestos de intercalación de los fullerenos M_xC_{60} : $\sim 35\text{ K}$, los pirocloros de osmio KO_2O_6 : $\sim 6\text{-}12\text{ K}$, y un muy, muy largo etcétera.

Mención aparte merece el diboruro de magnesio, MgB_2 , un material conocido

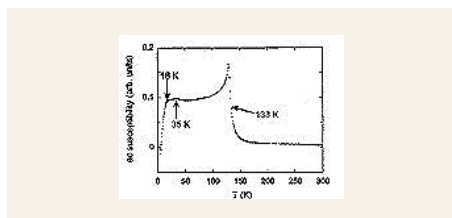


Figura 5. Evolución con la temperatura de la susceptibilidad magnética del material $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$. Se observan claramente la transición magnética, 133 K y la superconductora –intra e intergrano- a menor temperatura.

desde los años cincuenta y cuyas propiedades superconductoras, entre ellas una temperatura crítica de 39 K, fueron encontradas por Akimitsu *et al*¹⁵ en 2001. Se trata de un material muy interesante tanto por su estructura hexagonal de capas alternadas de boro y magnesio, figura 6, en la que las primeras forman un enrejado covalente análogo al del grafito mientras que los iones magnesio, que ceden dos electrones a aquellas,

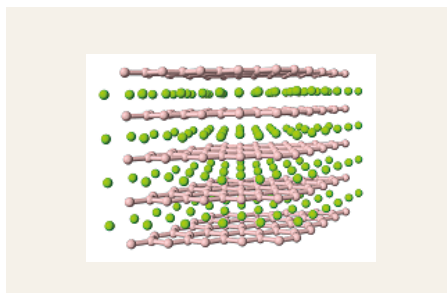


Figura 6. Estructura cristalina del diboruro de magnesio.

forman unidades triangulares intercaladas.

Ello sugiere que la superconductividad está asociada a la naturaleza metálica de la red de átomos de boro. Aunque no entremos en el detalle, sí se debe mencionar que el MgB_2 es el superconductor convencional de más alta T_c . Esto significa que la superconductividad observada se puede explicar por el mecanismo electrón-fonón que describe la primera teoría completa de la superconductividad. La denominada Teoría BCS, del nombre de sus autores¹⁶.

El boruro de magnesio, de síntesis sencilla y barata, por sus interesantes propiedades superconductoras puede ser utilizado en diferentes aplicaciones, como los imanes para RMN. En estos casos, se comprime el polvo en un tubo de plata o acero y, una vez extruido o laminado se usa como hilo o como cintas para bobinados.

1.-3/5 Tercer Acto: Pnicturos 2008-2014. $T_c \leq 54$

Este periodo es sensiblemente más fructífero que el anterior y viene marcado por el descubrimiento por Hosono y su grupo de investigación¹⁷ de un nuevo tipo de superconductores que recuerdan a los cupratos, por cuanto sus estructuras son cuasi-bidimensionales. Constituyen una gran familia de compuestos con varios tipos estructurales característicos. Se denominan *pnicturos*, por poseer en su composición átomos de los elementos electronegativos del grupo 15 de la Tabla Periódica¹⁸ o grupo del nitrógeno,

Figura 7. Elementos más electronegativos de la Tabla Periódica.

figura 7, como arsénico o fósforo y/o átomos del grupo 16 o calcógenos – (recorde-mos que los cupratos son óxidos).

La palabra *pnicturo* procede del griego πνίγειν (*pnígein*), que significa sofoco, ahogo o asfixia, como ocurre en una atmósfera nitrógeno.

Estos compuestos, fueron descubiertos, como decíamos, en 2006 por Hideo Osono y constituyeron un auténtico empujón a la investigación en superconductores. El primero de estos materiales fue el LaFOP –por lo que inicialmente se llamaron oxipnicturos; posteriormente se han encontrado muchos compuestos del mismo tipo que contienen arsénico y, más concretamente, LaOFeAs, cuya formulación deja entrever que la estructura está formada por capas AsFe y capas LaO/F.

La figura 8 recoge las estructuras cristali-nas de las cinco familias más importantes de estos materiales superconductores, jun-to con los de una análoga que (¿todavía?) no lo es. Si bien se trata de materiales muy interesantes, la máxima temperatura crí-tica alcanzada es de “solo” 57 K para el $\text{NdFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$, cuya formulación indica que es posible variar las proporciones re-lativas de los diferentes elementos que los forman y así modificar las propiedades, incluyendo también las superconductoras;

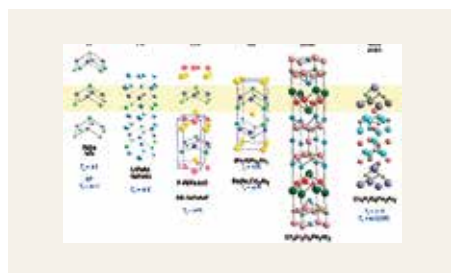


Figura 8. Estructuras cristalinas de las seis familias de pnicturos superconductores que contienen planos FeAs. (RE <> Tierra rara)²⁰.

se trata pues de soluciones sólidas, como también vimos lo son los cupratos. Existen pues analogías, pero también importantes diferencias. Cabe señalar que la presencia de arsénico, extremadamente tóxico como se sabe, cuando menos de las novelas de Agatha Christie, es ciertamente un hándi-cap para su uso generalizado.

A pesar de ello, en Japón se está haciendo un esfuerzo extraordinario y, recientemente, ha aparecido un artículo¹⁹ de revisión sobre el tema que recoge los ¡más de 1000! compuestos estudiados en una cooperación entre varios grupos de científicos japoneses muy destacados. El proyecto abarca 4 años (Marzo 2010 a Marzo 2014) y en él se describen además, en detalle unos 700 no su-perconductores.

La comparación de las figuras 4 y 7 es muy ilustrativa de las analogías y diferencias entre ambas familias. Por lo que se refiere a la temperatura crítica, la máxima alcanzada hasta ahora, unos 57 K, es sensiblemente menor que la mitad de la observada en cu-pratos, a la presión ambiente²¹. A pesar de ello, se trata de materiales muy interesantes cuyo estudio es de gran relevancia para la comprensión general de los materiales su-perconductores de alta temperatura.

1.-3/6 Cuarto Acto: Influencia de la Presión en la Superconductividad:

A) Hidrógeno e Hidruros (1935;

1964- 2018). Tc bajo presión mecánica, ¡260 K!
B) Ybacio y otros bajo estimulación óptica (2012-2018) Tc transitoria ¡330 K!

A) Hidrógeno e Hidruros (1935-1964-2018). Tc bajo presión mecánica ¡260 K!

Las relaciones del hidrógeno con la presión vienen de antiguo y tienen que ver con lo que se denomina *materia condensada*, de relevancia en multitud de propiedades y así por ejemplo en la superconductividad, en la estructura interna de los planetas gigantes, etc. Efectivamente, se supone que Júpiter posee un núcleo rocoso envuelto en una capa de hidrógeno líquido metálico –que, en su rotación, genera el campo magnético joviano: el mayor objeto del sistema solar– y este está a su vez recubierto de otra capa externa de hidrógeno molecular.

Al decir de antiguo nos referimos a que ya en 1935 un, por diferentes motivos, célebre, cristalógrafo irlandés nacionalizado británico, John D. Bernal, sugirió que “*todos los materiales se harían metálicos a presiones suficientemente altas*”. En el mismo año, Wigner y Huntington predijeron que “*a 0 K y una presión de 25 GPa, el hidrógeno presentaría propiedades metálicas*”. Bastantes años después, en 1963, Abrikosov –que obtendría el Premio Nobel de Física en 2003– predijo, a su vez, que “*el mecanismo de acoplamiento de los pares de Cooper debe aumentar bajo presión*”, lo que implicaría una mejora en las propiedades superconductoras. Posteriormente, en 1968, Neil Ashcroft, físico británico afincado en la Universidad de Cornell, sugirió que “*el hidrógeno metálico podría ser superconductor a temperatura ambiente (≈ 290 K) debido a un fuerte acoplamiento electrón-fonón*”.

Y la historia sigue aunque no la detallamos aquí y ahora. En todo caso, a partir de estas predicciones se considera al *hidrógeno metálico superconductor a temperatura ambiente* como “**el Santo Grial de la Física**”

o, más bien, de la Ciencia de Materiales. No está totalmente claro que se haya conseguido dicho material, pero... hay algunos experimentos que se han interpretado como tal. Veamos:

El primero de ellos tuvo lugar en el laboratorio Lawrence Livermore, de Berkeley, California, en el que por medio de ondas de choque producidas por el proyectil de un cañón de gas disparado sobre un blanco conteniendo hidrógeno entre dos láminas de rubí, se obtuvieron indicios ¡también inesperados!²² de hidrógeno metálico. La identificación del mismo se realizó a partir de elaboradas medidas de conductividad ¡durante *un microsegundo* a 1000 K y un millón de atmósferas! Varios otros experimentos se han realizado y existe una entretenida, completa y bien referenciada descripción de todos ellos en, por ejemplo, Wikipedia, bajo el epígrafe *Metallic Hydrogen*.

Los trabajos más recientes sobre el tema se llevan a cabo en el Laboratorio Nacional de Ignición, en el propio Livermore, dedicado a la fusión nuclear. En el experimento se concentraron, simultáneamente, los pulsos de 168 láseres sobre un blanco similar al ya descrito y se midieron diferentes propiedades que sugieren se alcanzó el deuterio metálico²³... pero no superconductor. También se pueden consultar otras fuentes²⁴.

A la vista de las grandes dificultades experimentales que se revelan para cumplir la predicción de Ashcroft, se ha iniciado un camino enormemente interesante y que está dando frutos notables en esa dirección. En lugar de estudiar el hidrógeno, se estudian los hidruros metálicos, materiales obviamente ricos en hidrógeno.

Un trabajo notable en este sentido es el estudio realizado por Eremets *et al*²⁵ del sulfuro de hidrógeno bajo presión. Hay que comenzar diciendo que si el mercurio de Kammerling-Onnes era un material atípico, el SH₂ lo es aun más; se trata, efectivamente, en condiciones ordinarias de un gas muy tóxico –responsable de, entre otros,

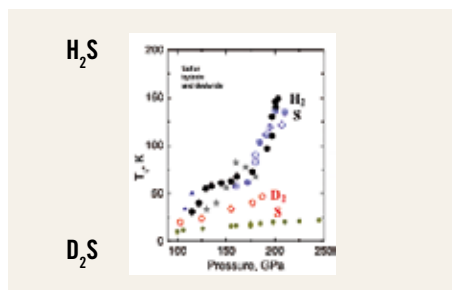


Figura 9. Variación de T_c para “SH₂”, “SD₂” y azufre.

el olor a huevos podridos... Naturalmente que, bajo la influencia de muy altas presiones las cosas cambian, se hace sólido y, en efecto, superconductor, con una de T_c 203 K. Otro punto importante de este trabajo es que las diferencias observadas entre H₂S y D₂S, figura 9, sugieren que el mecanismo de la superconductividad es el convencional descrito en la Teoría BCS. Recordemos, en este sentido, que no existe aun modelo teórico para explicarla en los casos de cupratos y pnicturos.

Los últimos desarrollos en este campo se refieren a otros hidruros algo más complejos, como los de lantano y de ytrio, para los que las predicciones teóricas²⁶ indican que bajo presiones del orden de 210 GPa alcanzarían valores de T_c de 274 a 286 K, el primero LaH₁₀ y de 305 a 326 K el segundo YH₁₀. Bien pues las determinaciones experimentales²⁷ llevadas a cabo por Hemley et al en LaH₁₀, figura 10, indican que se han alcanzado valores muy cercanos *e.g.* T_c = 260 K a 190 GPa lo que supone²⁸ el, hasta ahora, récord absoluto de temperatura crítica para la superconductividad bajo presión: unos -13°C! Ciertamente, la temperatura ambiente... en muchas partes del mundo.

B) Ybaco y otros materiales bajo estimulación óptica (2012-2018) $T_{c\text{transitoria}}$ ¡330 K!

Uno de los últimos acercamientos al estudio de la superconductividad de alta temperatura lo constituyen los experimentos

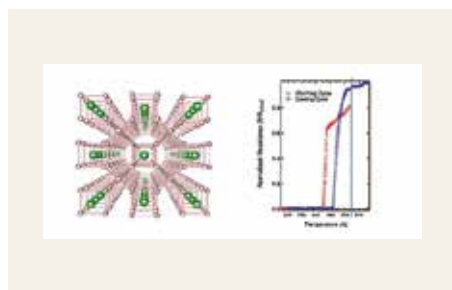


Figura 10. Estructura cristalina de LaH₁₀ y variación de la resistencia eléctrica en función de la temperatura a 190 GPa.

de bombeo y prueba, una modalidad de la espectroscopía óptica en la que se excita a la materia con un haz de luz intenso e inmediatamente después se estudia espectroscópicamente el estado excitado y su vuelta al estado fundamental. Aunque habitualmente esa técnica se utiliza en química molecular, una serie de estudios recientes²⁹ en particular del laboratorio de Andrea Cavalleri, han mostrado su utilidad en el estado sólido. En concreto, sometiendo el bien conocido Ybaco ($T_c \leq 96$ K), a pulsos de radiación en la región de los Terahertzios (1THz $\leftrightarrow$ 0.3mm $\leftrightarrow$ 4.1 meV) se consigue excitar un único enlace cobre-oxígeno por celda unidad, precisamente el correspondiente al apical de las pirámides [Cu-O₅] que se observan en la Figura 3; como consecuencia de ello, dicho oxígeno se acerca a la base de las pirámides, cuyas bases forman, precisamente, los planos superconductores; esto da lugar a un incremento en la transferencia de carga y a un *extraordinario* incremento en la temperatura crítica. De este modo se han conseguido valores de T_c ¡mayores de de 350 K!³⁰, figura 11.

Así pues, por este procedimiento se alcanzan valores de T_c que están incluso bastante por encima de la temperatura ambiente, incluso *por encima* de la temperatura media ecuatorial (!) Podría parecer, pues, que se ha encontrado “el Santo Grial” de la Física, la Química y la Ciencia de Materiales... Pero, este no es en realidad el caso, ya que

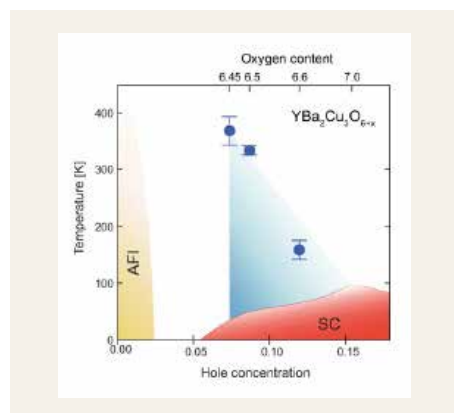


Figura 11. Diagrama de fases esquemático de YbCuO en el que se muestran las temperaturas críticas alcanzadas en los procesos de excitación, para muestras con diferentes composiciones. Tomado de la referencia 27.

si bien estamos a temperatura ambiente, la excitación dura del orden de los picosegundos (10^{-12} segundos) con lo cual no estamos en condiciones ambientales en lo temporal. El Santo Grial, pues, aunque quizá cercano, queda para mejor ocasión³¹.

Cabe, no obstante, resaltar la interesante idea del mecanismo atómico que da lugar al incremento de T_c hasta tan altas cotas y que, recordemos, era el acercamiento del oxígeno apical al plano basal de las pirámides. En el caso de los experimentos de bombeo y prueba, este acercamiento es, como decimos *transitorio*: solo dura picosegundos. Se trata pues de conseguir que esos materiales mantengan esas distancias interatómicas de manera permanente en condiciones ambientales. Obviamente, se están desarrollando trabajos en esa dirección aunque los resultados^{32, 33}, si bien esperanzadores, están aun muy lejos de ese importante objetivo.

A modo de conclusión

La historia de la superconductividad, que se extiende a lo largo de los últimos ciento doce años, constituye uno de los capítulos

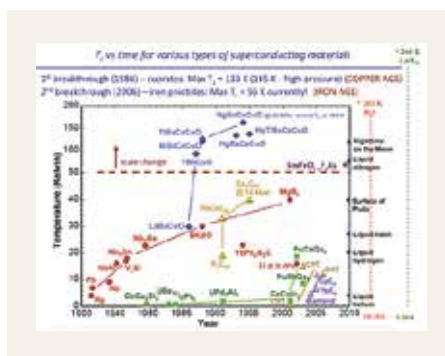


Figura 12.

más importantes de la Ciencia del siglo XX y mantiene un enorme interés en el siglo XXI. En ella se han producido importantísimos avances en las tres ciencias que la soportan Física, Química y Ciencia de Materiales. Precisamente, la complejidad de la mayoría de estos materiales, especialmente la de los más interesantes, ha propiciado una muy beneficiosa colaboración entre científicos de todas esas disciplinas y, dadas las tremendas aplicaciones de los superconductores, presentes y futuras, también se ha abierto una amplia puerta hacia la tecnología y la innovación.

La figura 12 recoge, de manera esquemática y en orden cronológico, la evolución de la temperatura crítica de los materiales más significativos a lo largo del tiempo³⁴, en línea con la estructura de este ensayo, necesariamente breve, en relación a la trascendencia científica, tecnológica y aun económica de los materiales superconductores.

Agradecimientos

El autor agradece su colaboración a los miembros del equipo de investigación del Grupo de Química del Estado Sólido de la Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Química Inorgánica I, de la UCM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Utilizando un criterio "moderadamente subjetivo" para establecer la relevancia informativa de un tema científico determinado podemos utilizar una herramienta tan popular como un buscador de Internet: en el caso de Google, la búsqueda de los términos principales de este artículo y su asociación dio lugar, el día 20 de mayo de 2018, a los siguientes resultados:

Superconductivity: -3.850.000 (0,60 sec); *High Pressure*: -194.000.000 (0,60 sec) *Superconductivity and High Pressure* -526.000 resultados (0,30 sec) y *Superconductivity under High Pressure* -246.000 resultados (0,33 sec). Está claro que la superconductividad y los materiales superconductores constituyen lo que ahora se denomina un tema "de alcance".

² *Exótico: extraño o diferente de manera que es sorprendente o fascinante.*

³ Se entiende por material a "un sólido útil con alto valor añadido". Ciertamente que el mercurio no es un sólido a la temperatura ambiente (su punto de fusión es de -38,13°C) aunque sí tiene un gran valor añadido que, por cierto, está decreciendo debido a la alta toxicidad del mismo (<https://www.greenfacts.org/en/mercury/1-3/mercury-5.htm>). En todo caso, tiene una buena conductividad eléctrica y en relación con el experimento de K-Onnes, su ventaja estriba en la relativa facilidad para purificarlo. (* M.Á. Alario y Franco. Discurso de Ingreso. Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de España. Madrid 1993).

⁴ Kamerlingh Onnes, H., "Further experiments with liquid helium. D. On the change of electric resistance of pure metals at very low temperatures, etc. V. The disappearance of the resistance of mercury." *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*; No. 122b, 1911.

⁵ En total se han otorgado 14 Premios Nobel de Física a trabajos relacionados con la superconductividad y 4 a trabajos relacionados con la presión: uno de Física y tres de Química.

⁶ J. G. Bednorz & K. A. Müller: *Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system*. *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter*; June 1986, Volume 64, Issue 2, 189.

⁷ M.Á. Alario y J.L.Vicent: *Superconductividad*. Editorial Eudema. Madrid 1991. Capítulo 7.

⁸ *Ibid.* Capítulo 8.

⁹ Wu, M. K.; Ashburn, J. R.; Torng, C. J.; Hor, P. H.; Meng, R. L.; Gao, L.; Huang, Z. J.; Wang, Y. Chu, C. W. (1987). "Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure". *Physical Review Letters*. 58 (9): 908-910.

Q.; Chu, C. W. (1987). "Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure". *Physical Review Letters*. 58 (9): 908-910.

¹⁰ Referencia 8, página 177.

¹¹ F. García-Alvarado, E. Moran, , M.A. Alario, *et al* Sol. St. Comm. (1987). Ver también *Materials Research Bulletin* 23(3)313-321 (1988).

¹² En algún momento se dijo que había tantos modelos teóricos -por cierto insuficientes- como teóricos...

¹³ Se ha llegado a hablar de más de 100.000 artículos publicados y de cientos de congresos.

¹⁴ L. Bauernfeind, W. Widder, H.F. Braun: *Physica C* 254, 151 (1995). J.L. Tallon, C. Bernhard, M. Bowden, P. Gilbert, T. Stoto, D. Pringle: *IEEE. Trans. Appl. Supercon.* 9, 1696 (1999).

¹⁵ Akimitsu, Jun (2001). "Superconductivity at 39 K in magnesium diboride". *Nature*. 410 (6824): 63-4. Ver también: arxiv.org/pdf/cond-mat/0105555.

¹⁶ La primera teoría capaz de explicar la superconductividad fue propuesta en 1957 por tres físicos norteamericanos: John Bardeen, Leon Cooper y John Schrieffer, basándose en el modelo de interacción entre los electrones y las vibraciones de la red -los fonones- una idea inicial de Cooper. Es bien conocido que Bardeen, considerado uno de los cien americanos más importantes del siglo XX, ya era premio Nobel, desde 1956, por el desarrollo del transistor, punto de partida de la electrónica sin válvulas de vacío, junto con William Shockley and Walter Brattain. De ahí que se bromease con la teoría BCS diciendo que "Cooper puso la idea, Schrieffer las matemáticas y Bardeen el nombre..." en cualquier caso, ello les llevó al Premio Nobel de Física en 1972, el segundo de Bardeen: única persona que ha recibido dos veces el PN de Física.

¹⁷ Kamihara, Yoichi; Hiramatsu, Hidenori; Hirano, Masahiro; Kawamura, Ryuto; Yanagi, Hiroshi; Kamiya, Toshio; Hosono, Hideo (2006). "Iron-Based Layered Superconductor: LaOFeP". *J. Am. Chem. Soc.* 128 (31): 10012-10013.

¹⁸ Tabla periódica cuyo centenario se cumple el próximo año. En efecto, el 20 de diciembre de 2017, durante su 72ª sesión, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó 2019 el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.

¹⁹ Hideo Hosono, Keiichi Tanabe, Eiji Takayama-Muromachi, Hiroshi Kageyama, Shoji Yamanaka, Hiroaki Kumakura, Minoru Nohara, Hidenori Hiramatsu, and Satoru Fujitsu: *Exploration of new superconductors and functional materials, and fabrication of superconducting tapes and wires of iron pnictides*. *Sci Technol Adv Mater*. 2015 Jun; 16(3): 033503.

²⁰ Hai-Hu Wen and Shiliang Li. *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.* 2011. 2:121-40.

²¹ Cabe señalar que, trabajos recientes en películas delgadas de seleniuro de hierro depositado en SrTiO₃, muestran temperaturas de hasta 100 K, lo que constituiría el máximo de esta familia. Sin embargo, en

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

este caso se trata, más bien, de un efecto de la interfase que del propio material. Ge *et al.* *Nature Materials* volume14, pages285–289 (2015).

²² Weir, S. T.; Mitchell, A. C.; Nellis, W. J. (1996).

"Metallization of fluid molecular hydrogen at 140 GPa (1.4 Mbar)". *Physical Review Letters*. 76 (11): 1860–1863.

²³ Celliers, P. M., Millot, M., Brygoo, S., Hemley, R. J. *et al.* *Insulator-metal transition in dense fluid deuterium*. *Science*, 361(6403), 677–682 (2018).

²⁴ Zha, Liu, Tse, and Hemley: PRL., 2017, 119, 07530. Dias and Silvera, *Science*: 2017, 355, 715. Eremets and Troyan. *Nature Materials*, 2011, 10: p. 927–931. Howie, Dalladay-Simpson and Gregoryanz: *Nat. Mater.* 2015, 14, 495. Phillip Ball: *Chemistry World*, 10-March, 2017.

²⁵ Drozdov, A.; Eremets, M. I.; Troyan, I. A. (2014). "Conventional superconductivity at 190 K at high pressures". *arXiv*:1412.0460.

²⁶ H. Liu, I. I. Naumov, R. Hoffmann, N. W. Ashcroft and R. J. Hemley, *Potential high-Tc superconducting lanthanum and yttrium hydrides at high pressure*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, 6990–6995 (2017).

²⁷ M. Somayazulu, M. Ahart, A.K. Mishra, Z. M. Geballe, Maria Baldini, Y. Meng, V. V. Struzhkin, <https://arxiv.org/abs/1808.07695> (29 Aug 2018).

²⁸ R.J. Hemley. *Progress on hydride, superhydride and hydrogen superconductors. International Symposium: Superconductivity and Pressure*, Fundación Ramón Areces, Madrid, 22/Mayo/2018. Véase también: E. Conover. *A new hydrogen-rich compound may be a record-breaking superconductor*; *Science News* 10/ septiembre/2018.

²⁹ R Mankowsky, A Subedi, M Först, SO Mariager, M Chollet, HT Lemke. *Nature* 516 (7529), 71 (2010).

R Mankowsky, A Subedi, M Först, SO Mariager, M Chollet, HT Lemke. *Nonlinear lattice dynamics as a basis for enhanced superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$* *Nature* 516 (7529), 71.

M Mitrano, A Cantaluppi, D Nicoletti, S Kaiser, A Perucchi, S Lupi, *Possible light-induced superconductivity in K_3C_{60} at high temperature*. *Nature* 530 (7591), 461 (2016).

W Hu, S Kaiser, D Nicoletti, CR Hunt, I Gierz, MC Hoffmann, M Le Tacon, *et al.* *Optically enhanced coherent transport in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ by ultrafast redistribution of interlayer coupling*. *Nature materials* 13 (7), 705 (2014).

R Mankowsky, A Subedi, M Först, SO Mariager, M Chollet, HT Lemke, *et al.* *Nonlinear lattice dynamics as a basis for enhanced superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$* *Nature* 516 (7529), 71 (2014).

³⁰ Kaiser S *et al* *Optically induced coherent transport far above T_c in underdoped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6-\delta}$* *Phys. Rev. B* 89 184516 (2014).

³¹ M.A. Alario y Franco. *Nature* 525, p43 (19/ Agosto/2015): *Comments to Igor.J. Mazin: "Superconductivity: Extraordinarily conventional"*. *Nature* 525, p40–41 (2015).

³² Sourav Marik, Christine Labrugere, O. Toulemonde, Emilio Morán and M. A. Alario-Franco: *Core-level photoemission spectra of $\text{Mo}_{0.3}\text{Cu}_{0.7}\text{Sr}_x\text{ErCu}_2\text{O}_y$ a super-conducting perovskite derivative. Unconventional structure-property relationships*. *Dalton Trans.*, 2015, 44, 10795.

³³ Irene Herrero-Ansorregui, Sara López-Paz, Xabier Martínez de Irujo-Labalde, Emilio Morán, Jorge Sánchez-Marcos, Nieves Menéndez, Miguel A. Alario-Franco*: *Superconductivity in $\text{Mx Cu}_{1-x}\text{Sr}_2\text{RECu}_2\text{O}_{7+\delta}$ ($\text{M} = \text{Mo}$ and Fe) cuprates: structure-properties relations in the road to higher T_c* . *Quantum Stud.: Math. Found.* DOI 10.1007/s40509-017-0132-z. Published online: 22-september 2017.

³⁴ Adaptada y actualizada de: Pia Jensen Ray. Figure 2.4 in Master's thesis, "Structural investigation of $\text{La}(2-x)\text{Sr}(x)\text{CuO}(4+y)$ - Following staging as a function of temperature". Niels Bohr Institute, Faculty of Science, University of Copenhagen. Copenhagen, Denmark, November 2015. DOI:10.6084/m9.figshare.2075680.v2.



ENFERMEDADES

CON ACORTAMIENTO TELOMÉRICO: DISQUERATOSIS CONGÉNITA Y FIBROSIS PULMONAR



Los cromosomas están compuestos en sus extremos por unas estructuras especializadas denominadas telómeros. Su importancia radica en que ejercen una función protectora de los cromosomas, evitando su deterioro. Sin embargo, los telómeros se van acortando progresivamente con la edad en la mayor parte de las células del organismo. Este proceso constituye una de las causas principales del envejecimiento. Además, algunas enfermedades están causadas por un acortamiento precoz y acelerado de los telómeros. Son enfermedades raras, que se presentan con una frecuencia muy baja en la población y se las conoce con el nombre general de telomeropatías o enfermedades relacionadas con la biología de los telómeros. Entre ellas se encuentran la disqueratosis congénita y algunos tipos de anemia aplásica y de fibrosis pulmonar. La Fundación Ramón Areces acogió un Symposium Internacional relacionado con estas enfermedades, titulado "Diagnóstico y terapias de enfermedades con acortamiento telomérico: disqueratosis congénita y fibrosis pulmonar". En este artículo exponemos los conceptos básicos de la estructura y función de los telómeros así como los aspectos más relevantes del diagnóstico y tratamiento de las telomeropatías.

ROSARIO PERONA, CRISTINA MANGUÁN GARCÍA,
ELENA G. ÁRIAS-SALGADO Y LEANDRO SASTRE

*Instituto de Investigaciones Biomédicas "Alberto Sols", CSIC/UAM
Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Raras
(CIBERER) - Madrid*

Los telómeros son las estructuras terminales de los cromosomas

Los telómeros son las estructuras terminales de los cromosomas. El nombre proviene de dos palabras griegas, telos (final) y meros (parte). Su principal función es proteger los extremos de los cromosomas de procesos de degradación del DNA. También impiden la fusión de unos extremos de los cromosomas con otros. Su función se ha comparado con la que ejercen las fundas de plástico que protegen los cordones de los zapatos o con los remates de cuerdas y tejidos.

El DNA de los telómeros humanos está formado por repeticiones en serie del hexanucleótido TTAGGG (1). En un recién nacido, estas repeticiones alcanzan una extensión de entre 10 y 15 kb, según los individuos. Posteriormente, va disminuyendo con la edad, como veremos más adelante. El descubrimiento de la estructura de los telómeros fue reconocido con el premio Nobel en Fisiología y Medicina, concedido en 2009 a Elizabeth Blackburn, Carol Greider y Jack Szostak. Los telómeros se caracterizan porque las dos cadenas del DNA tienen una longitud desigual, siendo la cadena del extremo 3' mas larga que la del extremo 5'. De esta forma, se origina una extensión de DNA monocatenario de unas 150-300 bases de repeticiones TTAGGG. La presencia de esta región monocatenaria es importante para la estabilidad de los telómeros porque se intercala en la región proximal del mismo telómero formando un bucle denominado lazo T (T-loop). Al intercalarse, se forma una zona tricatenaria, conocida como lazo D (D-loop). De esta forma, el telómero no termina en una región de DNA lineal, expuesto a la actividad de exonucleasas, sino en un lazo cerrado.

Los telómeros son estructuras nucleoproteicas a los que se asocian un grupo de

proteínas específicas denominado complejo shelterina (shelterin complex), constituido por 6 proteínas diferentes (2). Dos de estas proteínas se unen específicamente al DNA telomérico de cadena doble. Son las proteínas TRF1 y TRF2 (telomeric repeat binding factors 1 y 2) que se unen al DNA como dímeros. Una tercera proteína del complejo shelterina, TIN2 (TRF1-interacting nuclear factor 2), se une tanto a TRF1 como a TRF2, conectando a estas proteínas entre sí. La extensión monocatenaria del DNA es reconocida por la proteína POT1 (protection of telomeres 1). Las proteínas POT1 y TIN2 están conectadas entre sí por la proteína TPP1 (TINT1-PIP1-PTOP), contribuyendo a unir los componentes del complejo shelterina. Por último, la proteína RAP1 (repressor-activator proteína 1) se asocia específicamente con la proteína TRF2. Además, los telómeros adquieren una conformación de heterocromatina, incluyendo la existencia de modificaciones específicas de histonas y la incorporación de proteínas de heterocromatina como HP1a. La importancia de la estructura de la cromatina en los telómeros fue destacada por el Dr. Patrick Revy en el simposium internacional de la Fundación Ramón Areces.

El complejo shelterina, aparte de su función estructural, juega un papel importante al evitar que los telómeros sean reconocidos como DNA dañado por los sistemas celulares de respuesta a estas alteraciones. Esta regulación se lleva a cabo por interacciones directas entre proteínas del complejo shelterina y componentes de las rutas de señalización de la respuesta a daño en el DNA. Por ejemplo, existen interacciones entre TRF2 y la proteína quinasa ATM (ataxia-telangiectasia mutated) y entre POT1 y ATR (ATM-related), siendo

El acortamiento de los telómeros es también la causa de algunas enfermedades. Son enfermedades de origen genético debidas a mutaciones en genes que codifican proteínas necesarias para la replicación o la protección de los telómeros

ATM y ATR dos de las proteínas más importantes implicadas en la señalización de la respuesta a daño en el DNA. Las proteínas del complejo shelterina también son importantes para la incorporación a los telómeros del complejo telomerasa (del que hablaremos a continuación) y para la regulación del tamaño de los telómeros.

La replicación de los telómeros, que ocurre en cada ciclo de división celular, requiere mecanismos adicionales a los utilizados para el resto del DNA celular. La razón es que las DNA polimerasas no pueden sintetizar completamente los extremos de una molécula de DNA lineal porque requieren la utilización de iniciadores de RNA para una de las cadenas (lagging strand) y estas moléculas no pueden ser reemplazadas por DNA en el extremo 5' de la molécula. Las regiones monocatenarias en el extremo 3' tampoco pueden ser generadas por las DNA polimerasas. Como consecuencia de estos problemas los telómeros se acortan entre 50 y 100 pares de bases en cada ciclo de división celular. Elizabeth Blackburn descubrió que existe un complejo enzimático capaz de extender el extremo 3' de los telómeros tras el proceso de replicación del DNA (1). Este complejo recibió el nombre de telomerasa y su descubrimiento también fue reconocido en la concesión del premio Nobel en 2009. El complejo telomerasa tiene actividad transcriptasa reversa y es capaz de extender el extremo 3' de los telómeros utilizando como molde una molécula de RNA que contiene la secuencia complementaria a una repetición telomérica. De esta manera, se van añadiendo repeticiones sucesivas al extremo de los telómeros. La

proteína con actividad transcriptasa reversa se denomina TERT (telomerase reverse transcriptase) y el RNA molde, que forma parte constitutiva del complejo telomerasa, TR (telomerase RNA, codificado por el gen TERC). El complejo telomerasa contiene también otras proteínas necesarias para el ensamblaje y la estabilidad del complejo. Entre ellas está la proteína disquerina (dyskerin, codificada por DKC), necesaria para la estabilidad del RNA TR. Otras proteínas del complejo son NHP2 (H/ACA ribonucleoprotein complex subunit 2), NOP10 (nucleolar proteína 10) y GAR1 (H/ACA ribonucleoprotein complex subunit 1).

La expresión del gen TERT está muy regulada durante el desarrollo embrionario y en el organismo adulto, mientras que el resto de los componentes del complejo telomerasa se expresan de forma ubicua. Durante el desarrollo embrionario existen niveles elevados de TERT lo cual posibilita la conservación del tamaño de los telómeros a pesar de que las células proliferan de forma muy activa. Sin embargo, después del nacimiento, la expresión de TERT disminuye y el gen se silencia en la mayor parte de las células. Solamente se mantienen niveles elevados de TERT en las células germinales y en las células madre o troncales de los tejidos, aunque en estas células la expresión va disminuyendo con la edad de los individuos (3). Este patrón de expresión de TERT hace que el tamaño de los telómeros en células no germinales vaya disminuyendo con la edad (Figura 1). Una excepción muy relevante son las células tumorales, en las que se activa la expresión de TERT contribuyendo a su elevada capacidad de proliferación. El

acortamiento de los telómeros conduce a su desprotección aunque este es un proceso que solo tiene relevancia fisiológica cuando los telómeros sobrepasan un límite crítico. Cuando los telómeros son críticamente cortos pierden su estructura cromatínica y los complejos shelterina asociados son insuficientes para evitar que sean reconocidos como DNA dañado. En esta situación se activan las rutas de reparación del DNA dañado que conducen a la parada del ciclo celular. Las células dejan de proliferar, entran en una fase de senescencia que, si se prolonga, puede llevar a la muerte celular por apoptosis. La longitud telomérica no es igual para todos los cromosomas presentes de cada célula y se ha calculado que es necesario que al menos 5 cromosomas presenten acortamiento crítico para poner en marcha el proceso de respuesta al daño del DNA. Ya se ha mencionado que el acortamiento de los telómeros va aumentando con la edad de los individuos y esto hace que a partir de cierta edad los tejidos vayan perdiendo capacidad de renovación, contribuyendo al envejecimiento del organismo (4).

El acortamiento de los telómeros es también la causa de algunas enfermedades. Son enfermedades de origen genético debidas a mutaciones en genes que codifican proteínas necesarias para la replicación o la protección de los telómeros (5-7). Estos pacientes presentan telómeros mucho más cortos que la población general de su misma edad. Generalmente, están por debajo del 1% de la población con telómeros más cortos (Figura 1). Como consecuencia, presentan un déficit en la capacidad de renovación de los tejidos que podría considerarse un envejecimiento precoz. Los tejidos epiteliales y hematopoyéticos, al requerir proliferación celular activa, se presentan particularmente afectados en estos enfermos. Estas patologías están dentro del grupo de las enfermedades raras debido a que su prevalencia es inferior a una de cada 100.000 personas de la población. Según los síntomas que pre-

sentan los enfermos se diagnostican como distintas enfermedades pero es importante recalcar que todas ellas son enfermedades sistémicas puesto que todas las células del organismo presentan las mismas alteraciones genéticas. Esto hace que puedan aparecer distintos síntomas afectando a distintos órganos en el curso de la enfermedad. Esta característica tiene mucha importancia para el tratamiento de los pacientes, como describiremos en secciones posteriores de este artículo.

Telomeropatías

Disqueratosis congénita

La disqueratosis congénita fue la primera enfermedad relacionada con un excesivo acortamiento telomérico. La enfermedad fue descrita a principios del siglo XX. Se presenta en niños pequeños, normalmente en la primera década de vida y está caracterizada por la existencia de una triada de síntomas muco-cutáneos: distrofia de las uñas, pigmentación anómala de la piel (pigmentación reticulada en algunas zonas) y leucoplaquia oral (Tabla 1). En 1988, se encontró que esta enfermedad estaba asociada a mutaciones en un gen que se denominó DKC1 y la proteína codificada disquerina. Poco después se observó que la disquerina tenía un papel en la replicación de los telómeros y que estos pacientes, la mayoría niños, presentaban telómeros notablemente cortos en comparación con otras personas de su edad. Posteriormente se ha visto que la disqueratosis congénita también puede deberse a mutaciones en otros genes relacionados con la biología de los telómeros (8,9). Entre ellos se encuentran genes que codifican proteínas del complejo telomerasa como TERT, TERC, NOP10, NHP2 o el ya mencionado gen DKC1. Algunos pacientes también presentan mutaciones en genes que codifican proteínas del complejo shelterina, como TIN2 o TPP1. Otros

Enfermedades asociadas al acortamiento telomérico o telomeropatías

Enfermedad	Principales síntomas	Edad de diagnóstico
Disqueratosis congénita	Distrofia de las uñas Pigmentación reticulada Leucoplaquia oral Fallo de médula ósea Estenosis de conductos Fibrosis pulmonar Predisposición a algunos tipos de cáncer	Primera década
Anemia aplásica	Fallo de médula ósea Citopenias Anemia	A partir de tercera década
Fibrosis pulmonar	Fibrosis intersticial pulmonar Bronquiolitis Neumonía Enfisema	A partir de la cuarta década
Enfermedades hepáticas	Cirrosis hepática no alcohólica ni infecciosa	A partir de la quinta década

Tabla 1

genes afectados codifican proteínas que son necesarias para la replicación del DNA de los telómeros, RETEL1 (Regulator of telomere elongation helicase 1), CTC1 o para el ensamblaje del complejo telomerasa, como TCAB1 (codificada por el gen WRAP53) o PARN (Poly(A).specific 3' exoribonuclease). Como puede observarse, la disqueratosis congénita es una enfermedad muy heterogénea en cuanto a su causa genética y más teniendo en cuenta que hay una proporción significativa de pacientes que no presentan mutaciones en los genes mencionados lo que sugiere que el número de genes afectados debe ser aun mayor.

La sintomatología clínica de estos pacientes es igualmente heterogénea. La tríada

de síntomas muco-cutáneos no se presenta en su totalidad en todos los pacientes. En algunos no se observan en el momento del diagnóstico aunque aparecen a edades más avanzadas. Los pacientes pueden presentar otros muchos síntomas de los que el más frecuente es el fallo de la médula ósea, reflejado en un anemia aplásica (10). De hecho, esta suele ser la causa más frecuente de deceso en estos pacientes. Los pacientes también pueden presentar fibrosis pulmonar, problemas hepáticos, necrosis de las costillas, osteopenia con riesgo de fracturas, estenosis de esófago, conductos lacrimales o uretra o propensión a desarrollar tumores tales como carcinomas de cabeza y cuello, síndrome mielodisplásico o leucemia linfoblás-



tica aguda. Algunos de estos síntomas son comunes con otras telomeropatías, como describiremos a continuación.

Se han descrito otras enfermedades relacionadas con la disqueratosis congénita y causadas por mutaciones en los mismos genes. Entre ellas están los síndromes de Hoyeraal Hreidarsson, Resvesz y Coat plus. Las tres enfermedades se presentan en niños de muy corta edad y tienen síntomas más severos que la disqueratosis congénita, incluyendo problemas de desarrollo. Por ejemplo, los pacientes del síndrome de hoyeraal-hreidarsson presentan retardo del crecimiento intrauterino, microcefalia e hipoplasia cerebelar. Los pacientes del síndrome de Resvesz presentan retinopatía exudativa y calcificaciones intracraneal, además de retraso en el crecimiento intrauterino. Los pacientes del síndrome de Coats Plus presentan telangiectasias retinales o ectasias vasculares gastrointestinales además del retraso de crecimiento intrauterino y retinopatía bilateral exudativa. Otros síntomas comunes con los de disqueratosis congénita, incluyendo los fallos de médula ósea (8).

Los aspectos clínicos de la disqueratosis congénita y otras enfermedades relacionadas fueron discutidos por los Drs S. Savage, A. Bertuch e I Dokal en el simposium

internacional. Los proyectos que se están llevando a cabo en España para el diagnóstico clínico y molecular de estos pacientes fueron presentados por los Drs. J. Sevilla y L. Sastre, incluyendo la determinación de la longitud telomérica para discriminar a los pacientes que presentan esta enfermedad frente a los que presentan anemia aplásica de distinto origen.

Fibrosis Pulmonar

La enfermedad más prevalente debida a acortamiento telomérico es la fibrosis pulmonar, teniendo en cuenta que también es una enfermedad rara. Esta enfermedad está caracterizada por la aparición progresiva de fibrosis intersticial en los pulmones y tiene mal pronóstico, con una supervivencia media de 2-3 años desde el diagnóstico de la enfermedad. El diagnóstico de la enfermedad se realiza en base a la aparición de figuras reticuladas (Honeycombing) en los pulmones en imágenes de tomografía computarizada de alta resolución (high-resolution computerized tomography, HRCT). Los síntomas clínicos son diversos, incluyendo bronquiolitis, neumonía (obliteras orga-

Es frecuente encontrar acortamiento telomérico entre los pacientes de fibrosis pulmonar

nizing pneumonia y chronic hypersensitive pneumonia), fibrosis pulmonar y enfisema. Se conocen casos de presentación familiar, con varios parientes afectados y también casos aislados por lo que se denominan casos de fibrosis pulmonar familiar o idiopática. La forma familiar representa aproximadamente el 20% de los casos.

El análisis genético de varias familias afectadas por esta enfermedad permitió identificar mutaciones en los genes TERT y TERC entre el 8 y el 15% de los casos, identificando algunos casos de esta enfermedad como telomeropatías (11). En estas familias las mutaciones en TERT y TERC se transmitían de forma autosómica dominante. Estudios posteriores identificaron mutaciones en genes relacionados con la biología de los telómeros en el 15-20% de los casos de fibrosis pulmonar familiar y en el 1-3% de los casos esporádicos de fibrosis pulmonar idiopática. Hasta el momento se han encontrado mutaciones en TERT (8-15% de los casos), TERC (<1%), DKC1 (<1%), TINF2 (<1%), RTEL1 (5%) y PARN (4%). Recientemente se han descrito también mutaciones en el gen NAF1. Hay que mencionar que algunos pacientes de fibrosis pulmonar presentan mutaciones en genes relacionados con las secreciones pulmonares tales como algunos genes que codifican mucinas, entre ellos MUC5.

Por los motivos descritos, es frecuente encontrar acortamiento telomérico entre los pacientes de fibrosis pulmonar (Figura 1). Este acortamiento puede originar un fallo irreversible en la proliferación de las células troncales alveolares que podría ser el origen de la fibrosis pulmonar. Las depleciones de células alveolares posibilita la invasión del tejido por fibroblastos y su transformación a mio-fibroblastos, dando comienzo a un proceso progresivo de fibrosis pulmonar.

Evolución de la longitud de los telómeros durante el envejecimiento y en enfermos de telomeropatías

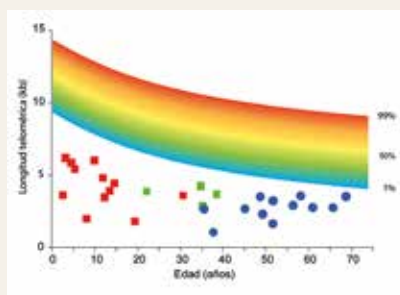


Figura 1. En esta figura se representa cómo cambia la longitud de los telómeros en la población general con la edad. El tamaño telomérico es muy heterogéneo en la población y en la parte continua de la gráfica se representa el tamaño que corresponde desde el 1% de la población con los telómeros más cortos al correspondiente al grupo que tiene el tamaño más largo que el del 99% restante de la población. Los cuadrados amarillos representan el tamaño de los telómeros de enfermos de disqueratosis congénita con respecto a su edad. Los cuadrados verdes la longitud de los telómeros de enfermos de anemia aplásica y los círculos azules el tamaño de los enfermos de fibrosis pulmonar.

Como hemos mencionado anteriormente, el acortamiento telomérico es un proceso sistémico, que afecta a todos los tejidos. De hecho, los pacientes de fibrosis pulmonar presentan manifestaciones en otros órganos y tejidos tales como fallos de médula ósea que producen disminución en el número de eritrocitos, citopenias de una única línea celular o anemia aplásica. También presentan mayor incidencia de cirrosis hepática y diabetes.

La relación entre la biología de los telómeros y la patología de la fibrosis pulmonar fue analizada por la Dra. M. Armanios en

el simposium internacional. Por su parte, la Dra. M. Molina Molina presentó sus estudios acerca de las implicaciones clínicas del acortamiento telomérico en la fibrosis pulmonar. El Dr. M. Selman presentó una visión amplia de las rutas patogénicas de la fibrosis pulmonar idiopática y su asociación con los procesos de envejecimiento.

Anemia aplásica

La anemia aplásica puede deberse a muchas causas diferentes, incluidas varias enfermedades raras como la anemia de Falconi, el síndrome de Shwachman-Diamond o el síndrome de Diamond-Blackfan. Además, muchos pacientes de disqueratosis congénita presentan anemia aplásica, como se ha indicado anteriormente. Aparte de estos casos, se ha descrito que existe una proporción de pacientes de anemia aplásica, cerca de un 10%, que presentan mutaciones en TERT y TERC sin que se observen otros síntomas de disqueratosis congénita (12). Estos pacientes suelen manifestar los síntomas a los 30-40 años y presentan acortamiento telomérico menos acusado que en otras telomeropatías, por debajo del 10% de la población de la misma edad con telómeros más cortos. Recientemente se han descrito también mutaciones en los genes RTEL1 y ACD. La transmisión de estas mutaciones sigue un patrón autosómico dominante.

Enfermedades hepáticas

En pacientes con cirrosis hepática no alcohólica se ha encontrado una proporción relativamente elevada de mutaciones en TERT y TERC (13). Estos pacientes presentan telómeros acortados y actividad telomerasa reducida.

Peculiaridades clínicas de las telomeropatías

Es importante destacar dos aspectos clínicos de las enfermedades que cursan con acortamiento telomérico. La primera es el carácter multisistémico de la enfermedad. Aunque hemos hablado de distintas enfermedades, todas tienen el mismo origen biológico, el acortamiento de los telómeros. En muchos casos, también presentan mutaciones en los mismos genes. Esto se refleja en que el mismo paciente puede presentar los síntomas de las distintas enfermedades en distintos momentos de su evolución clínica. Por ejemplo, puede presentar síntomas cutáneos durante la infancia y posteriormente desarrollar anemia aplásica. Si sobrevive a estas alteraciones, puede presentar fibrosis pulmonar, enfermedad hepática o cáncer a edades más avanzadas.

La segunda peculiaridad es la existencia de anticipación génica por la cual en los casos familiares las últimas generaciones presentan mayor gravedad que sus predecesores (14). Esto se puede reflejar en que los síntomas de la enfermedad aparecen a edades más tempranas a medida que transcurren las generaciones. También se refleja en que la gravedad de la enfermedad es mayor en las generaciones más jóvenes. El fundamento biológico es que las generaciones más jóvenes heredan telómeros ya acortados de sus padres con lo cual el acortamiento a lo largo de su vida es aun mayor que el de sus padres (15). Por ejemplo, en la clínica esto se puede reflejar en que los abuelos o los padres pueden presentar telomeropatías tales como fibrosis pulmonar o anemia aplásica en la edad adulta mientras que los hijos pueden presentar las formas infantiles y más graves de la enfermedad como puede ser disqueratosis congénita. Por esta razón, en los casos familiares hay que considerar todas las posibles telomeropatías cuando se hacen la historia y el árbol familiar.

Actualmente no existe un tratamiento farmacológico satisfactorio para las telomeropatías. Existen tratamientos sintomatológicos

Tratamiento de las telomeropatías

Actualmente no existe un tratamiento farmacológico satisfactorio para las telomeropatías. Existen tratamientos sintomatológicos. En el caso de la anemia aplásica se están llevando a cabo tratamientos con hormonas androgénicas y con la hormona estimuladora de andrógenos danazol (16). Se ha observado que este tratamiento mejora el número de células sanguíneas de los pacientes aunque no induce el alargamiento de los telómeros, que es la causa de la enfermedad. La conveniencia de este tratamiento fue discutida en el simposium internacional de la Fundación Ramón Areces por los Drs. S. Savage, A. Bertuch e I. Dokal. En el caso de la fibrosis pulmonar, se están utilizando compuestos antifibróticos como pirfenidona y nintedanib, que retrasan el desarrollo de la enfermedad, como discutieron en el simposium los Dres M. Molina y M. Selman.

El trasplante de los órganos afectados también es una alternativa terapéutica. En el caso de la disqueratosis congénita y anemia aplásica se transplantan células madre hematopoyéticas. En el caso de la fibrosis pulmonar se realizan trasplantes de pulmón. En los enfermos de telomeropatías los trasplantes de órganos tienen requerimientos especiales. Estos pacientes están parcialmente inmunodeprimidos y soportan muy mal los tratamientos de acondicionamiento que se suelen realizar antes de los trasplantes. Por lo tanto, estos pacientes requieren tratamientos de acondicionamiento muy suaves o, incluso ninguno (17). Otro aspecto a considerar en estos pacientes es el carácter multisistémico de la enfermedad

mencionado anteriormente. Los trasplantes corrigen los problemas derivados de los órganos transplantados pero no evitan los que puedan aparecer en otros órganos. Por esta razón se ha observado que la evolución de los pacientes transplantados puede ser difícil. Por ejemplo, en algunas ocasiones enfermos que han sufrido un trasplante de médula ósea pueden desarrollar posteriormente problemas inmunológicos, fibrosis pulmonar o cáncer con mayor frecuencia que la población control.

Desarrollo de nuevos modelos de telomeropatías y tratamientos

El desarrollo de nuevos medicamentos para estas enfermedades es una urgencia médica que fue tratada en el simposium internacional. Un primer aspecto de este proceso consiste en el desarrollo de modelos biológicos de la enfermedad en los que ensayar los posibles nuevos fármacos. En la actualidad no existen buenos modelos porque el más habitual, los ratones, no es muy válido para estas enfermedades. La razón es que los ratones de laboratorio presentan telómeros mucho más largos que los humanos y pueden adaptarse a vivir con mutaciones en genes relacionados con los telómeros, como TERT o TERC, sin presentar sintomatología. Se están desarrollando ratones modificados genéticamente en los que se puedan reproducir las telomeropatías. Dos de estos modelos fueron presentados en el simposium por los Drs I. Flores, V. Geli y M. Blasco. Estos modelos reproducen algunos de los síntomas presentes en los enfermos de telomeropatías y

pueden ser utilizados para el desarrollo de nuevos tratamientos.

En cuanto al desarrollo de nuevos tratamientos, la Dr. M. Blasco presentó los estudios que están realizando expresando el gen TERT utilizando vectores no integrativos (18). El objetivo es aumentar la expresión de TERT y la actividad telomerasa en los tejidos y órganos afectados por la enfermedad. La Dra. R. Perona presentó los estudios realizados con péptidos derivados de la proteína disquerina. La expresión de estos péptidos aumenta la actividad telomerasa, activa la proliferación celular y disminuye el estrés oxidativo y el daño al DNA en varios modelos celulares de disqueratosis y en modelos de rata de fibrosis pulmonar (19,20). Por último, el Dr. G. Guenechea presentó un proyecto de terapia génica dirigido a corregir las mutaciones presentes en el gen

DKC1 mediante edición génica utilizando el sistema Crisp/cas9.

Organizaciones de pacientes

Muy de destacar en este simposio ha sido la participación de dos asociaciones de pacientes de telomeropatías. K. Steven, Presidenta de Team telomere (<https://teamtelomere.org/>) y C. Lines de AFEFPI (Asociación de familiares de enfermos con fibrosis pulmonar, <http://fibrosispulmonar.es>). Dada la gravedad de estas enfermedades y el compromiso que requieren de los padres en el caso de la disqueratosis congénita y de los familiares cercanos en la fibrosis pulmonar el papel de las asociaciones de pacientes es de mucha ayuda en estas enfermedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Blackburn, E. H., Greider, C. W., and Szostak, J. W. (2006) *Nat Med* 12, 1133-1138.

² De Lange, T. (2005) *Genes Dev* 19, 2100-2110.

³ Wright, W. E., Piatyszek, M. A., Rainey, W. E., Byrd, W., and Shay, J. W. (1996) *Dev Genet* 18, 173-179.

⁴ López-Otin, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., and Kroemer, G. (2013) *Cell* 153, 1194-1217.

⁵ Bertuch, A. A. (2016) *RNA Biol* 13, 696.

⁶ Armanios, M. (2013) *J Clin Invest* 123, 996-1002.

⁷ Savage, S. A. (2018) *F1000Res* 7.

⁸ Savage, S. A., and Bertuch, A. A. (2010) *Genet Med* 12, 753-764.

⁹ Perona, R., Iarriccio, L., Pintado-Berninches, L., Rodriguez-Centeno, J., Manguan-García, C., García, E., Lopez-Ayllon, B. D., and Sastre, L. (2016) Molecular diagnosis and precision therapeutic approaches for telomere biology disorders in *Telomeres* (Larramendy, M., and Soloneski, S. eds.), INTECH. pp 77-117.

¹⁰ Ballew, B. J., and Savage, S. A. (2013) *Expert Rev Hematol* 6, 327-337.

¹¹ Armanios, M. Y., Chen, J. J., Cogan, J. D., Alder, J. K., Ingersoll, R. G., Markin, C., Lawson, W. E., Xie, M., Vulto, I., Phillips, J. A., 3rd, Lansdorp, P. M., Greider, C. W., and Loyd, J. E. (2007) *N Engl J Med* 356, 1317-1326.

¹² Townsley, D. M., Dumitriu, B., and Young, N. S. (2014) *Blood* 124, 2775-2783.

¹³ Calado, R. T., Brudno, J., Mehta, P., Kovacs, J. J., Wu, C., Zago, M. A., Chanock, S. J., Boyer, T. D., and Young, N. S. (2011) *Hepatology* 53, 1600-1607.

¹⁴ Armanios, M., Chen, J. L., Chang, Y. P., Brodsky, R. A., Hawkins, A., Griffin, C. A., Eshleman, J. R., Cohen, A. R., Chakravarti, A., Hamosh, A., and Greider, C. W. (2005) *Proc Natl Acad Sci U S A* 102, 15960-15964.

¹⁵ Vulliamy, T., Marrone, A., Szydlo, R., Walne, A., Mason, P. J., and Dokal, I. (2004) *Nat Genet* 36, 447-449.

¹⁶ Khincha, P. P., Wentzensen, I. M., Giri, N., Alter, B. P., and Savage, S. A. (2014) *Br J Haematol* 165, 349-357.

¹⁷ Barbaro, P., and Vede, A. (2016) *Biol Blood Marrow Transplant* 22, 1152-1158.

¹⁸ Bar, C., Povedano, J. M., Serrano, R., Benitez-Buelga, C., Popkes, M., Formentini, I., Bobadilla, M., Bosch, F., and Blasco, M. A. (2016) *Blood* 127, 1770-1779.

¹⁹ Machado-Pinilla, R., Sanchez-Perez, I., Murguía, J. R., Sastre, L., and Perona, R. (2008) *Blood* 111, 2606-2614.

²⁰ Iarriccio, L., Manguan-García, C., Pintado-Berninches, L., Mancheno, J. M., Molina, A., Perona, R., and Sastre, L. (2015) *PLoS One* 10, e0142980.

MATEMÁTICAS E IMAGINACIÓN



“Matemáticas e imaginación” es un fragmento del libro *Mis Orejas de Perro* de próxima publicación, un ensayo que adopta la forma de “bibliomemorias” para evocar una biografía como lector y llamar al eclecticismo en nuestras lecturas. El autor, José Antonio Martín, médico y MBA por la Northwestern University, fue becario de la Fundación Ramón Areces.

JOSÉ ANTONIO MARTÍN

Médico y MBA por la Northwestern University

Los de mi generación tuvimos que elegir a una edad muy temprana si “éramos” de letras o de ciencias. Como si fuese posible descartar unas u otras.

Como si filólogos o abogados no fuesen a necesitar cuadrar las cuentas cada mes -en el trabajo algunos, en casa todos-, o saber diferenciar entre correlación y causalidad; como si pudiesen evitar la química de lo que comen y respiran, o escapar a las leyes de la biología o de la física, que condicionarán cada uno de sus días y que no obedecen a normas creadas por el hombre. Como si un ingeniero o un médico pudiesen serlo bien, una vez superada la ilusión de omnipotencia y de imperio de la racionalidad que les invade recién terminadas sus carreras universitarias, ajenos a la psicología de las personas que transitan por los puentes o casos clínicos que construyen, desconocedores de los clásicos de la literatura, aferrados al número excluyendo la palabra.

La especialización, que supone la división del trabajo y del saber en celdas cada vez más reducidas, es a la vez consecuencia y base del crecimiento económico, como ya señaló Adam Smith en *La Riqueza de las Naciones*. Aspirar a tener conocimientos amplios en materias tanto científicas como humanísticas es una opción que desapareció con el hombre renacentista, porque hoy no nos ayuda a ser productivos. Hasta el mismo término “generalista” es criticado por oxímoron¹: no existe ni puede existir el “especialista en la totalidad”.

Así, especializarse parece ser un imperativo económico, y ser un generalista, un imposible lingüístico y hasta metafísico.

El que diseñó el programa educativo en el que muchos nos hemos formado debía tener claros esos conceptos cuando decidió que la función de colegios e institutos era formar especialistas... desde cuanto antes mejor. Una ramificación del conocimiento excesivamente precoz que aplicaba un utilitarismo miope, porque la creatividad y la innovación, que son las mayores fuentes de

creación de valor económico y de bienestar, surgen precisamente en las fronteras entre disciplinas. Un estigma que nos acompaña de por vida, en parte porque entramos en el juego y perdemos la confianza en nuestra capacidad de poder asomarnos a otros campos que no sean “el nuestro” y hasta perdemos la curiosidad por aprender.

La formación debería ser continua y no solo centrada en aquello relacionado con nuestro oficio. Dado que no la provee ni exige el Estado, debemos procurarla nosotros mismos. Aunque solo sea por intentar entender algo mejor el mundo, que no es de ciencias “o” de letras, y poder apreciar las muchas cosas bellas que ofrece al que no se contenta con ese techo de cristal que alguien colocó sobre nuestras cabezas y se atreve a escarbar aquí y, sobre todo, allá.

Asumiendo que damos ese paso, podemos dudar de por dónde comenzar y de hasta dónde seremos capaces de llegar. Las ciencias han avanzado tanto (una barbaridad, como bien decía la zarzuela) desde eso que estudiamos en el bachillerato que pueden intimidar al que las revisita. No podemos pretender comprender, sin más, la teoría de cuerdas o las implicaciones de la física cuántica (no hay que desanimarse, ya dijo Richard Feynman, dirigiéndose a sus colegas: si crees que entiendes la mecánica cuántica es que no entiendes la mecánica cuántica); los libros más técnicos son sin duda inasequibles, pero nada nos impide bucear por textos divulgativos y maravillarnos por el nivel de abstracción y de profundidad de las nuevas teorías y conjeturas. No es posible asimilar todo lo nuevo que ha traído la exploración espacial en las últimas décadas porque nos habíamos quedado en lo de que, vale, la Tierra no es plana y, de acuerdo, gira en torno al Sol y no al revés (... y *sin embargo se mueve*), pero interesarnos por ella nos permite ver ese pequeño “punto azul-pálido” que es nuestro planeta desde fuera y así a la vez relativizarlo y revalorizarlo, redescubrir el sistema solar -que

en nuestra mente es quizá aún esa representación unidimensional en el diagrama del libro de texto- con los ojos de las sondas que la NASA ha paseado por hasta sus últimos rincones y participar de la aventura de los que están intentando colonizar Marte en los próximos años: todo esto es más excitante que la más loca novela o película de ciencia-ficción. Nuestro conocimiento de genética quizá quedó anclado en los experimentos con guisantes de Mendel y en que Darwin decía que venimos del mono, algo que posiblemente tragamos sin digerir ni asimilar, pero valdría la pena actualizarlo ahora que se ha mapeado el genoma humano y que mediante ingeniería genética podemos interferir en los mecanismos evolutivos naturales que hasta aquí han traído al hombre y a otras especies.

Es tal el ritmo de avance de lo que se va conociendo y pudiendo hacer que, de estar recogido y bien agregado en algún medio de comunicación de masas, se leería como una novela de acción o de suspense. O, más propiamente, como filosofía. Porque los físicos-los astrónomos o los que están a la caza de partículas subatómicas en el CERN, con los biólogos, los comunicólogos o los informáticos que trabajan en inteligencia artificial o en realidad virtual, son los nuevos filósofos. Conjuntamente, aportan explicaciones de “la realidad”, de los fenómenos terrenales y cósmicos, que superan a las explicaciones precientíficas de las religiones o de las antiguas doctrinas filosóficas. Explicaciones que no son solo más contundentes -por ser difíciles de variar y estar basadas en teorías previas y en evidencias demostrables (aunque la ciencia, esclava de su método, nunca dice basta y siempre está dispuesta a cambiar de opinión)-, sino también más armónicas, más bellas y conmovedoras. Más de lo que ningún hombre o sistema filosófico creado por hombres pudo nunca idear o incluso soñar.

¿Por dónde comenzar, entonces? Para todos, de letras, de ciencias o mediopen-

sionistas, un buen punto de partida son las matemáticas.

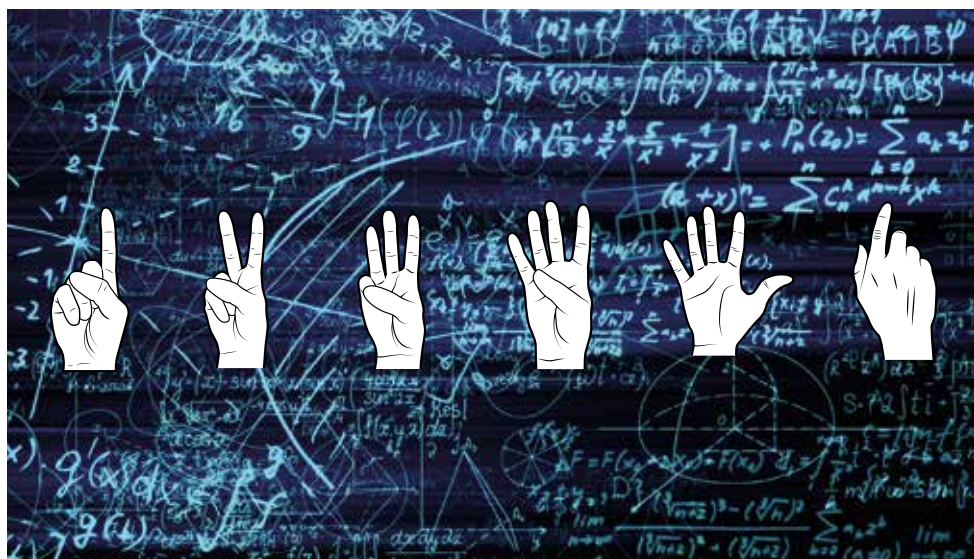
El lenguaje en el que está escrito, Galileo *dixit*, el Universo. El único idioma común a todos los humanos, la lengua que hablan cuerpos celestes, átomos, plantas, rocas y artefactos y, aunque finjan comunicarse con nosotros utilizando palabras para hacérselo más llevadero, ordenadores y teléfonos móviles.

Hay que revisar el juicio que formamos sobre las matemáticas a una edad en la que solo eran algo de lo que teníamos que examinarnos, un código extraño e inútil (“¿de qué me va a valer cuando sea mayor saber de geometría o de estadística?”) que un malvado profesor se había empeñado en embutir en nuestro cerebro. Son, además de imprescindibles para manejarse por la vida, lo que no es un asunto menor, mucho más divertidas de lo que recordamos.

Ya puestos, comencemos por todo lo alto. Un libro que pretende y logra una “alta divulgación” matemática.

Hay un sentimiento generalizado de que la ciencia, como la magia o la alquimia en la Edad Media, se practica y solo puede ser entendida por un reducido grupo de esotéricos. (...) Así, de alguna manera, la popularización de la ciencia es un deber que debe ser cumplido, el deber de alentar y confortar a los hombres y mujeres de buena voluntad que, en todas partes, están perdiendo gradualmente su fe en la vida de la razón. (...) Lo que la mayoría de los libros populares sobre matemáticas ha intentado hacer es o bien discutirlos filosóficamente o bien aclarar esos conceptos que alguna vez aprendimos y que ya hemos olvidado. En este sentido, nuestro propósito al escribir este libro ha sido algo distinto. “Haute vulgarisation” es el término que utilizan los franceses para ese feliz resultado que ni ofende por su condescendencia ni crea confusión por utilizar excesivos tecnicismos².

Mathematics and the Imagination, de Edward Kasner y James Newman, fue uno



de los cien libros seleccionados por Borges para su Biblioteca Personal. El único de este género, sobreviviendo a lo que debió ser una dura criba en competencia con toda la poesía y filosofía, todas las grandes novelas, cuentos y ensayos que hasta ese momento habían sido escritos. Nada que añadir a esta carta de presentación. Publicado originalmente en 1940, cuando intenté adquirirlo estaba descatalogado, pero pude comprarlo de segunda mano: algún neozelandés que decidió que los diez o quince euros que, al cambio actual, le pagué, valían más que el ejemplar casi des encuadernado de *Pelican Books* de 1968 que me daba a cambio. Jamás hice mejor trato.

Ha sido reeditado y puede encontrarse en esa biblioteca digital (y comercial) de Alejandría en la que se está convirtiendo Amazon.

Nadie puede ver el baile giratorio del electrón; los telescopios más potentes solo revelan una exigua porción de las estrellas y nebulosas lejanas, y de las frías esquinas del espacio. Pero con la ayuda de las matemáticas y de la imaginación, lo muy pequeño, lo muy grande, todas las cosas están al alcance del hombre³.

Las matemáticas más avanzadas asustan por abstrusas, pero debemos acercarnos a ellas como el niño que empieza a contar utilizando los dedos de las manos porque, dicen los autores, esa es la base de esta ciencia: la aritmética, el arte de contar:

Para comprender el significado y la importancia de las matemáticas, para apreciar su belleza y su valor, es necesario comenzar por comprender la aritmética, puesto que, desde su comienzo y en su mayor parte, las matemáticas han sido fundamentalmente aritmética en atuendo simple o más elaborado. La aritmética ha sido la reina y la doncella de las ciencias desde los días de los astrólogos de Caldea y de los sumos sacerdotes en Egipto hasta los días actuales de la relatividad, de lo cuántico y de la calculadora. Los historiadores pueden discutir el significado de los papiros de la antigüedad, los teólogos pueden pleitear sobre la exégesis de las Escrituras, y los filósofos pueden debatir sobre la doctrina pitagórica, pero todos convendrán en que los números que hay en los papiros, en las Escrituras o en los escritos de Pitágoras, son los mismos números de hoy. Como aritmética, las matemáticas han ayudado a proyectar horóscopos, a hacer calendarios, a predecir las crecidas del Nilo, a

medir campos y la altura de las pirámides, a medir la velocidad de una piedra al caer desde la Torre de Pisa y la de una manzana cayendo de un árbol en Whoolsthorpe, a pesar estrellas y átomos, a marcar el paso del tiempo, a hallar la curvatura del espacio. Y, aunque las matemáticas son también el cálculo, la teoría de la probabilidad, el álgebra matricial y la ciencia del infinito, siguen siendo el arte de contar⁴.

Ahora bien, si vamos a contar, aunque sea números muy grandes que parecen acercarse al infinito, debemos ser exactos.

Contar... es una operación precisa. Puede ser algo maravilloso, pero no tiene nada de vago o de misterioso. Si cuentas algo, la respuesta que obtienes es o bien perfecta o bien totalmente errónea; no hay término medio. Se parece mucho a coger un tren: o lo coges o lo pierdes, y si lo pierdes, aunque sea por una fracción de segundo, bien podrías haber llegado una semana tarde. (...) Un número grande es grande, pero es definido y finito⁵.

En las páginas de este libro está el origen del nombre de una de las empresas más importantes en el actual mundo digital:

Los niños dicen cosas sabias al menos tan a menudo como los científicos. El término "googol" fue inventado por un niño (el sobrino de nueve años del Dr. Kasner), a quien se le pidió que pensara un nombre para un número muy grande, en concreto un 1 con cien ceros detrás. Ese niño estaba seguro de que este número no era infinito y, por tanto, igualmente seguro de que debía tener un nombre. Además de sugerir "googol", también nombró un número aún mayor, el "Googolplex". (...) El googolplex es, así, un número finito específico, con tantos ceros detrás del 1 que el número de ceros es en sí mismo un "googol". (...) Te puedes hacer una idea del tamaño de este número tan grande, pero finito, a partir del hecho de que no habría espacio para escribirlo incluso si viajases hasta la estrella más lejana, visitando todas las nebulosas, y fueses dejando ceros en cada pulgada a lo largo del camino⁶.

Cuenta la anécdota que cuando Larry Page y Sergey Brin, los fundadores de Google, discutían junto a otros colaboradores el nombre a dar a la nueva tecnología de búsqueda que habían desarrollado y que permitía indexar cantidades ingentes de datos, alguien sugirió en voz alta "Googol". El ayudante de turno entendió, porque son palabras homófonas en inglés, "Google", y ese es el dominio que en 1997 quedó registrado para la historia. Aunque es posible que haya un eslabón intermedio olvidado en esta narración, y que la elección de la marca para ese servicio, sin el que hoy nos costaría vivir, no fuese el resultado de un error de deletreo: Douglas Adams, sin duda inspirándose en el sobrino de Kasner, ya había utilizado en 1979 la grafía "Googleplex" en su novela *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. Libro de culto en *Silicon Valley*, esa pequeña zona al sur de San Francisco que, por el impacto que está teniendo hoy en el desarrollo de nuestra civilización, es la moderna Mesopotamia.

¿Y no eres tú acaso -dijo Fook, inclinándose ansiosamente hacia adelante- un mejor analista que el Pensador de la Estrella Googleplex en la Séptima Galaxia de la Luz y de la Ingenuidad, que puede calcular la trayectoria de cada partícula de polvo durante una tormenta de arena de cinco semanas en Dangrabad Beta?

Googleplex es, por cierto, el nombre que dio la empresa Google al complejo de oficinas de su sede central en California.

Una vez acomodados en números tan, tan grandes, Kasner y Newman nos llevan de la mano de Georg Cantor al infinito (el Aleph). O, mejor dicho, a los infinitos.

Al adentrarse en la ciencia del infinito, Cantor entendió que el primer requisito era definir los términos. Su definición de "clase infinita", que aquí parafrasearemos, se asienta en una paradoja. UNA CLASE INFINITA TIENE LA PROPIEDAD ÚNICA DE QUE EL TODO NO ES MAYOR QUE ALGUNA DE SUS PARTES. Ese enunciado es tan esencial para

las matemáticas del infinito como el de que EL TODO ES MAYOR QUE CUALQUIERA DE SUS PARTES lo es para la aritmética finita. (...) Necesitamos, así, de un tipo de número completamente nuevo, que no puede encontrarse en ninguna parte de la aritmética finita, para describir la cardinalidad de una clase infinita. En consecuencia, a la totalidad de los íntegros se le asignó la cardinalidad “Aleph”. (...) Podemos, por tanto, atribuir a los alephs de Cantor la misma existencia que al número 7. Ni de aquellos ni de este se puede hacer una afirmación de existencia que esté libre de autocontradicción. De hecho, no hay ninguna razón válida para creer más en el finito que en el infinito. Es tan permisible descartar el infinito como rechazarlo que nos muestran nuestros sentidos. No es ni más ni menos científico hacer una cosa u otra. En un análisis final, esta es una cuestión de fe y de gusto, pero que no es equiparable con creer en Santa Claus; las clases infinitas, cuando son enjuiciadas usando estándares finitos, generan paradojas mucho más absurdas, y mucho menos agradables, que la creencia en Santa Claus; pero cuando se examinan mediante los estándares apropiados, pierden su apariencia extraña y se comportan de una manera tan predecible como cualquier íntegro finito. Situado por fin en el marco apropiado, el infinito ha asumido un puesto respetable junto al finito, tan real y confiable como este aunque tenga un carácter completamente diferente⁸.

Y de la aritmética, a la geometría, que logra la supuestamente imposible cuadratura del círculo.

En la infancia de la geometría, se descubrió que era posible medir el área de una figura delimitada por líneas rectas. De hecho, la geometría fue desarrollada para ese fin: medir los campos de cultivo en el Valle del Nilo, en los que las inundaciones provocadas por subidas del río borrraban todas las marcas hechas por los agricultores para

señalar los límites de los campos que pertenecían a unos y otros. La medición de áreas delimitadas por líneas curvas ofrecía mayores dificultades, por lo que se intentó convertir esos cálculos a la medición de áreas delimitadas por líneas rectas. Claramente, si un cuadrado puede ser construido con el área de un determinado círculo, midiendo el área del cuadrado quedaría determinada la del círculo. La expresión “cuadratura del círculo” deriva de esta aproximación. El número π es la razón entre la circunferencia de un círculo y su diámetro. El área de un círculo de radio r viene dado por la fórmula πr^2 . Sabemos que el área de un cuadrado de lado A es A^2 . Así, la fórmula algebraica $A^2 = \pi r^2$ expresa la equivalencia en área entre un cuadrado y un círculo dados. Tomando la raíz cuadrada de ambos lados de esta ecuación, obtenemos $A = \sqrt{\pi}r$. Como r es una cantidad conocida, el problema de “cuadrar el círculo” es, de hecho, el cálculo del valor de π . Considerando que los matemáticos han logrado calcular π con extraordinaria exactitud, ¿qué significa entonces esa afirmación de que “es imposible la cuadratura del círculo”? Lamentablemente, esta cuestión sigue estando velada por muchos malentendidos. Pero esos malentendidos desaparecerían si se entendiese el problema⁹.

Las matemáticas despiertan nuestra imaginación quizá porque desafían nuestra intuición, que la evolución ha optimizado para lograr una mejor adaptación al medio en el que vivimos. La parte del mundo, limitada, que experimentamos, tiene habitualmente un ritmo de cambio lineal, en el que las magnitudes crecen por adición de una cantidad constante. Las progresiones exponenciales o geométricas, sin embargo, nos sorprenden; no estamos preparados o programados para interpretarlas intuitivamente y así poder predecir la secuencia que seguirán. Ocurre hoy, y es algo relevante para la estrategia de cualquier empresa en cualquier sector de actividad en estos tiempos disrup-

tivos, con los fenómenos ligados a la economía digital, por ejemplo, el crecimiento en el tráfico de datos transmitidos por las redes de telecomunicaciones, o el de la utilización y número de usuarios de Google (¿Googol?) o de Facebook, fenómenos que están alimentados por las externalidades positivas de red o “efecto red”. La nueva economía digital, exponencial, nos sobrepasa y no cesa de acaparar titulares en los periódicos (formato que, dicho sea de paso, lo digital amenaza: la periodicidad, diaria, semanal o mensual de las publicaciones impresas a las que durante tanto tiempo fiamos la recepción de información de lo que ocurría, acompañada del análisis sosegado, da paso a la inmediatez, sin filtros, de los medios de comunicación electrónicos). La progresión geométrica se da en muchos fenómenos biológicos -a ese ritmo, por ejemplo, se multiplicó en el útero de tu madre el número de células de ese embrión que, pasados los años y, lo sé, ocurridas muchas cosas, se ha convertido en lo que tú eres hoy- pero por alguna razón, reclamaciones al maestro Darwin, nos resulta extraña. Como muestra, otro ejemplo que incluyen Kasner y Newman en su libro:

Según un antiguo relato, al Gran Visir Sisa Ben Dahir le fue otorgada una recompensa por haber inventado el ajedrez para el rey hindú Shirham. Jugando con el hecho de que el ajedrez se juega en un tablero de 64 casillas, Sisa le dijo al rey: “Majestad, deme un grano de trigo por el primer cuadrado, dos granos de trigo para colocar en el segundo cuadrado, cuatro granos de trigos para colocar en el tercero, ocho granos de trigo para colocar en el cuarto, y siguiendo así, ¡oh rey!, déjeme cubrir cada una de las 64 casillas del tablero”. “¿Y es eso todo lo que tú, Sisa, ingenuo de ti, deseas?”, dijo el asombrado rey. “Oh, señor”, contestó Sisa, “Lo que le he pedido es más trigo del que hay en todo su reino; no, más trigo del que existe en el mundo entero... (...) El número de granos de trigo que Sisa había pedido era $2^{64} - 1$.

(...) Otra situación singular en la que aparece el número 2^{64} es en el cálculo del número de antepasados que cada uno de nosotros tiene, contando desde el comienzo de la era cristiana, de lo que hace unas 64 generaciones. En ese período de tiempo, asumiendo que cada persona tiene 2 padres, 4 abuelos, 8 bisabuelos, etc., sin contar posibles combinaciones incestuosas, cada uno de nosotros tiene al menos 264 antepasados, es decir, algo menos de dieciocho trillones y medio de relaciones, solo considerando las lineales. Un pensamiento de lo más deprimente¹⁰.

Dieciocho trillones (y medio, no hay que despreciar ese medio) de ascendientes directos. Nada, comparado con un googol (10^{100}), pero, aun así, dieciocho millones -y medio- de millones de millones de ascendientes directos. De no ser porque la mortalidad es ¿consustancial? al ser humano, las comidas familiares en navidad estarían muy concurridas.

Inmortalidad, palabras mayores, que la lógica matemática, en este caso tirando de la teoría de la probabilidad, no puede descartar.

... la nueva física y la nueva lógica han cambiado nuestra perspectiva tan profundamente como han modificado nuestra diferenciación elemental entre materia y energía. “Comenzamos teniendo un prejuicio contra la probabilidad, despreciándola como algo improvisado, y estando a favor de la causalidad”, y terminamos convencidos de que los contornos del mundo no son nítidos sino borrosos, y de que nuestras leyes científicas más exactas son simplemente aproximaciones suficientemente buenas para nuestros rudimentarios sentidos. Así, en lugar de utilizar el silogismo y las reglas de la lógica formal, nuestras ideas sobre el universo físico deben ser calibradas, exclusivamente, usando las reglas de la inferencia probable. Traducimos “Sócrates es un hombre; todos los hombres son mortales, por lo tanto, Sócrates es mortal”, como enunciado sobre el mundo de los hechos, por “Sócrates



probablemente morirá porque, hasta donde podemos saber, todos los hombres anteriores a él habían muerto”. “Ahora, atribuimos nuestras dudas sobre el mundo no a las incertezas sobre nuestros pensamientos, sino a la propia naturaleza del mundo que nos rodea. Esta es una visión más sensata, más madura y más comprensible”.

En este punto recordamos las conmovedoras palabras de Charles Peirce. “Todos los asuntos humanos descansan en probabilidades, y eso es cierto en cualquier lugar. Si el hombre fuese inmortal, podría estar seguro de ver el día en el que todo en lo que confió traicionará su confianza y, en resumen, de llegar finalmente a un estado de miseria desesperada. Terminaría por desmoronarse, como ha ocurrido con todas las dichas, con todas las dinastías y civilizaciones. En vez de eso tenemos la muerte. Pero aquello que, sin la muerte, ocurriría a todos los hombres, con la muerte le debe ocurrir a algún hombre... Me parece que estamos conducidos a entender esto, a entender que nuestra condición de seres lógicos, inexorablemente, nos debe llevar a que nuestros intereses no sean limitados. No deben reducirse a preocuparnos únicamente por lo que nos pueda

ocurrir a nosotros mismos, sino que deben abarcar a toda la comunidad”¹¹.

Las matemáticas, como enseña este libro, no acaban, sino tan solo empiezan, en los números.

Como despedida (en estas páginas) de *Mathematics and the Imagination*, volvamos a la geometría, que a pesar de ser más visual que la probabilidad o la aritmética también se nos atragantaba en el colegio, a partir de la definición que de ella dan Kasner y Newman...

La geometría, independientemente de lo que otros puedan pensar, es el estudio de diferentes figuras, muchas de las cuales son muy bellas por tener armonía, gracia y simetría. Por supuesto, también se han escrito gruesos libros sobre geometría abstracta y espacio abstracto en los que no aparece ni un diagrama ni figura geométrica alguna. Esta es una importante rama de las matemáticas, pero no es la geometría que estudiaron los egipcios y los griegos¹².

... y detengámonos en la simetría, para desde allí avanzar en sentido inverso hacia la gracia, la armonía y la belleza. Aunque para hacerlo deberemos estar dispuestos a atravesar túneles abstractos.

Tomando una forma geométrica cualquiera -simple, como un triángulo, o más compleja, como el icosaedro, que tiene veinte facetas triangulares-, podemos jugar con ella, como hace la naturaleza, rotándola, invirtiéndola, buscando esa magia que es y produce la simetría, “el cambio sin cambio”. La simetría es personaje protagonista en *Finding Moonshine*, de Marcus du Sautoy. Un personaje de acción, no una simple propiedad pasiva innata a la figura geométrica.

Yo tenía una vaga idea de lo que la “simetría” significaba. Sabía que yo era simétrico, por lo menos en mi forma exterior. De todo lo que tenía en el lado izquierdo de mi cuerpo había una imagen especular en mi lado derecho. Pero un triángulo, al parecer, tenía mucha más simetría que la simple simetría especular. También podías rotarlo y el triángulo seguía pareciendo el mismo. Comencé a darme cuenta de que no estaba realmente seguro de lo que significaba decir que algo era simétrico.

El libro afirmaba que el triángulo equilátero tenía seis simetrías. Al continuar leyendo, comencé a ver que la simetría del triángulo estaba capturada por la serie de cosas que yo podía hacer con él que lo dejaban con la misma apariencia que al principio. (...) El libro me estaba empujando a concebir la simetría como una acción que yo podía realizar con el triángulo reemplazándolo luego dentro de su contorno, en vez de alguna propiedad innata del propio triángulo. (...) Podía dar la vuelta al triángulo de tres maneras distintas. Cada vez, dos de sus esquinas intercambiaban su lugar. También podía hacerlo girar un tercio de rotación completa, bien en el sentido de las agujas del reloj o en sentido inverso. Todo esto sumaba cinco simetrías. ¿Cuál era la sexta? (...) Me di cuenta de que debían haber considerado como simetría simplemente dejar el triángulo donde estaba. Curioso... pero pronto vi que, si “simetría” quería decir cualquier cosa que pudieras hacer que mantuviese al triángulo

dentro de su contorno, entonces no tocarlo en absoluto -o, lo que es lo mismo, cogerlo de una punta y volver a dejarlo en el mismo lugar- era también una acción que debería ser incluida¹³.

Un fenómeno, la simetría, que también tiene su propio lenguaje, algebraico, la teoría de grupos.

De entre todo lo que había visto en esos libros, fue la teoría de grupos -el lenguaje de la simetría- lo que más me intrigó. Parecía coger un mundo que estaba lleno de imágenes y convertirlo a palabras. Las peligrosas ambigüedades que abundan en el mundo visual, con su plétora de ilusiones ópticas y de espejismos, se transparentaban gracias al poder de esta nueva gramática¹⁴.

Un lenguaje con el que la naturaleza parece gozar, aunque no solo es juego sino también un truco, bello pero eficaz, que utiliza la evolución.

Pero ¿por qué es la simetría tan dominante en la naturaleza? No es solo una cuestión de estética. Al igual que lo es para mí y para las matemáticas, la simetría en la naturaleza es una cuestión de lenguaje. Otorga a los animales y a las plantas una vía para transmitir múltiples mensajes, desde la superioridad genética hasta información nutricional. La simetría es a menudo un signo de significado, y puede por tanto interpretarse como una forma básica, casi primitiva, de comunicación. (...) A la abeja le gusta la simetría pentagonal de la madreselva, la forma hexagonal de la clemátide, y la simetría altamente radial de la margarita o del girasol. El abejorro prefiere la simetría especular, como la simetría de la orquídea, del guisante o de la dedalera o digital. La visión de las abejas ha evolucionado lo suficiente como permitirles reconocer estas importantes formas. Porque en la simetría hay sustento. Las abejas que se sienten atraídas por figuras geométricas con patrones son los insectos que no pasarán hambre. Para la abeja, la supervivencia de los más aptos significa convertirse en un ex-

perto en simetría. (...) Puesto que la planta depende igualmente de atraer a la abeja a su flor para que ocurra la polinización y así prolongar su herencia genética, también ha contribuido a este diálogo natural. La flor que logra una simetría perfecta atrae más abejas y sobrevive por más tiempo en la batalla evolutiva. (...) La simetría denota algo especial, algo que tiene significado¹⁵.

La simetría no solo juega con abejas y flores sino también con nuestros gustos. La evolución hace, por ejemplo, que sintamos particular atracción por las personas con rostros simétricos. No es la simetría la cualidad que destacaríamos de esa persona de la que nos hemos enamorado (o, sin tanta gravedad, de aquella por la que nos sentimos atraídos), pero ahí está, operando de manera subconsciente. Igual que está presente en la “evolución” de los objetos inanimados.

Aunque la simetría es genéticamente difícil de lograr, muchos fenómenos naturales gravitan hacia la simetría por ser el estado más estable y eficiente. El mundo inanimado está lleno de ejemplos de la tendencia hacia la simetría formal. Cuando una pompa de jabón se forma, trata de asumir la forma de una esfera perfecta, la figura tridimensional con la mayor simetría. Por mucho que se rote o refleje una esfera, su forma continuará teniendo la misma apariencia. Pero para la película de jabón, lo que resulta atractivo es la forma esférica. La esfera es la figura que puede contener un volumen de aire dado con la menor área superficial y, por lo tanto, es la figura que requiere la menor energía. Como una piedra que rueda ladera abajo de una montaña hasta alcanzar el punto de menor energía en el valle, la esfera simétrica representa la forma óptima para la película de jabón. La gota de lluvia que cae del cielo no tiene, de hecho, la forma de lágrima que habitualmente dibujan los artistas; eso es solo una convención artística para lograr un efecto de lluvia en movimiento. La verdadera imagen de una gota de agua cayendo del cielo es la de una esfera perfecta¹⁶.

Ahora que prestamos atención, vemos

simetrías por todas partes. En el cosmos...

Los científicos han descubierto misteriosas simetrías escondidas en el seno de muchas partes del mundo natural: tanto la física fundamental como la biología y la química dependen de una compleja diversidad de objetos simétricos. Tanto el copo de nieve como el mortal virus del HIV utilizan la simetría. En el mundo químico, un diamante deriva su dureza de la forma altamente simétrica en que están organizados sus átomos de carbono¹⁷.

... y en el arte. Nueva prueba, si es que hacían falta más, de que la separación entre ciencias y humanidades es arbitraria y empobrecedora.

La simetría continúa guiando la forma en la que juntamos palabras en canciones y poesía. Desde las primeras pinturas rupestres hasta el arte moderno, desde los antiguos golpes de tambor hasta la música contemporánea, los artistas han llevado continuamente la simetría hasta sus extremos. (...) La palabra simetría evoca objetos bien equilibrados, con proporciones perfectas. Esos objetos capturan una sensación de belleza y forma¹⁸.

Tanto cuando buscamos belleza en la naturaleza, como cuando pretendemos crearla o recrearla mediante las artes, la simetría es a la vez punto de partida y de destino.

Frank Wilczek, premio Nobel de Física en 2004, escribe *A Beautiful Question* con un estilo científico, sobrio que, sin embargo, se lee como filosofía o poesía, buscando respuestas a la pregunta que abre el libro:

¿Es el mundo una obra de arte?¹⁹

Y, si tiene sentido considerar al mundo como una obra de arte, ¿es una obra de arte exitosa? ¿Es el mundo, considerado como obra de arte, bello?

Cada artista tiene su estilo. (...) El estilo artístico de la naturaleza tiene su sello en dos obsesiones:

- Simetría: un amor por la armonía, por el equilibrio y la proporción.

- Economía: la satisfacción en producir

*gran cantidad de efectos a partir de escasos medios*²⁰.

Simetría y economía de medios o eficiencia, que como apuntaba du Sautoy con el ejemplo de la pompa de jabón, es uno de los fines o consecuencias de la simetría, que parece así monopolizar la respuesta a la pregunta de qué entiende la naturaleza por belleza. Implícita en esa pregunta está también la cuestión de qué apreciamos los humanos como bello y por qué. Wiczek anticipa dos explicaciones:

1. Los seres humanos somos, sobre todo, criaturas visuales. Tanto nuestro sentido de la visión, por supuesto, como también, de maneras menos evidentes, nuestros modos de pensamiento más profundos, están condicionados por nuestra interacción con la luz. Todos nosotros, por ejemplo, nacemos con lo necesario para ser consumados practicantes de la geometría proyectiva, aún de manera inconsciente. Esa capacidad está programada en nuestros cerebros. Es lo que nos permite interpretar que la imagen bidimensional que llega a nuestra retina representa un mundo de objetos en el espacio tridimensional. (...) De la física más moderna y avanzada aprendemos que la luz en sí misma es una forma de materia, y, de hecho, también que la materia en general, cuando se entiende de manera profunda, es extraordinariamente similar a la luz. Así que, nuevamente, nuestro interés en la luz y nuestra experiencia con ella, que están profundamente enraizados en nuestra naturaleza esencial, resultan ser algo afortunado. A las criaturas que, como la mayoría de los mamíferos, perciben el mundo principalmente a través del sentido del olfato, les resultaría mucho más difícil llegar a la física tal y como la entendemos, incluso si fuesen muy inteligentes de otras maneras. (...) A diferencia de ellos, los pájaros son criaturas visuales como nosotros. Más allá de eso, su estilo de vida

*les confiere una ventaja adicional sobre los humanos para iniciarse en la física. Pues los pájaros, con su libertad de vuelo, experimentan la simetría esencial del espacio tridimensional de una manera íntima que no está a nuestro alcance. (...) Estas cuestiones ilustran un argumento filosófico común, el de que el mundo no nos ofrece una única interpretación de lo que es. El mundo ofrece muchas posibilidades para diferentes universos sensoriales, que apoyan interpretaciones diversas sobre su significado. De esta manera, lo que llamamos Universo es ya de hecho un multiverso*²¹.

De nuevo aparece ese concepto, el del multiverso o el multi-universo, términos que probablemente veremos a la RAE incluir en su Diccionario en un futuro no muy lejano, cuando se acabe de probar que no suponen necesariamente una contradicción en términos. Prosigue Wilczek:

2. El éxito en la percepción implica una inferencia sofisticada, porque la muestra de información que recibimos del mundo es muy parcial y está llena de ruidos. A pesar de todos los poderes innatos que tenemos, también debemos aprender a ver mediante la interacción con el mundo, formando expectativas y comparando nuestras predicciones con la realidad. Cuando generamos expectativas que resultan ser correctas, experimentamos placer y satisfacción. Esos mecanismos de recompensa alientan un aprendizaje exitoso. También estimulan -de hecho, en su base, son- nuestro sentido de la belleza.

Combinando estas observaciones, descubrimos una explicación de por qué consideramos que los fenómenos que nos resultan interesantes de la física (fenómenos de los que podemos aprender!) son bellos. Una consecuencia importante de esto es que valoramos especialmente las experiencias que son sorprendentes, pero no demasiado sorprendentes. La rutina, el reconocimiento superficial, no nos reta, y puede no ser recompensado como aprendizaje activo. Por

*otra parte, los patrones que nos resultan completamente desconcertantes tampoco nos provocan una experiencia gratificante, son ruido*²².

Este es un “secreto” que explota la naturaleza, que, podríamos decir, busca y premia la belleza, la simetría.

*En este aspecto, es también una suerte que la naturaleza emplee, en su funcionamiento básico, simetría y economía de medios. Pues estos principios, al igual que nuestro entendimiento intuitivo de la luz, promueven el acierto en las predicciones y el aprendizaje. A partir de la apariencia de una parte de un objeto simétrico, podemos predecir (¡con éxito!) la apariencia del resto de él, y del comportamiento de partes de los objetos naturales, podemos predecir (¡a veces, con éxito!) el comportamiento del todo. La simetría y la economía de medios son, por tanto, exactamente el tipo de cosas que tendemos a experimentar como bellas*²³.

El argumento que desarrolla Wilzcek (valoramos especialmente las experiencias que son sorprendentes, pero no muy sorprendentes) es muy similar a la reflexión que hace Jeff Hawkins en *On Intelligence*, sobre el arte, recogida en el capítulo I: “... las obras de arte altamente creativas son valoradas porque quebrantan nuestras predicciones. (...) La pintura, la música, la poesía, las novelas -todas las formas de creación artística- se esfuerzan en romper con la convención y con las expectativas de su audiencia o público. Hay una tensión contradictoria en lo que hace de una obra de arte algo grande. Queremos que el arte nos resulte familiar, pero a la vez que sea único e inesperado. Si es demasiado familiar, la obra se percibe como algo reciclado o kitsch; si es excesivamente novedosa o única, resulta disonante y es difícil de apreciar. Las mejores obras rompen algunos patrones esperados a la vez que nos enseñan otros nuevos”.

Los grandes compositores y poetas entendieron o intuyeron este principio, tan esencial para el éxito de sus obras. También los pintores. Quien visite el Museo Thyssen-Bornemisza en Madrid puede hacer un viaje

por la historia de la pintura: comenzando en la planta segunda por las obras medievales, con motivos religiosos, y enseguida por los retratos renacentistas; descendiendo luego a la planta primera para pasear por romanticismo, realismo e impresionismo y, al llegar a la planta baja, recreándose con una buena muestra de lo que trajo el siglo XX, desde surrealismo hasta arte abstracto. Cada movimiento pictórico dialoga con, y se apoya en, todo lo anterior, que sirve como referente no solo al artista sino también al público, a la vez que aporta algo nuevo. El Jardín de las Delicias (que reside enfrente del Thyssen, en el Museo del Prado), de El Bosco, llama la atención por ser tan onírico, rompedor y moderno como los cuadros de Dalí siendo quinientos años anterior a estos, pero es una excepción. Las sorpresas y novedades, para que no resulten estridentes, deben dosificarse. Sin los antecedentes de Velázquez, Goya, Rembrandt o Caravaggio, luego de Van Gogh, Manet o Monet, no hubieran podido llegar las figuras humanas distorsionadas de Modigliani o Picasso, las líneas rectas de Mondrian, la locura abstracta de Pollock, los juegos cromáticos de Rothko. A la abstracción se llega sala a sala, piso a piso por las escaleras, no bajando en ascensor dos plantas de golpe.

Dice Marcel Proust en *El Mundo de Guermantes*:

La gente dotada de gusto nos dice hoy que Renoir es un gran pintor del siglo XVIII. Pero al decir esto se olvidan del Tiempo, y de que ha sido menester mucho, aun en pleno siglo XIX, para que Renoir fuese reconocido como un gran artista. Para lograr ser así reconocido, el pintor original o el artista original proceden a la manera de los oculistas. El tratamiento por medio de su pintura, de su prosa, no siempre es agradable. Cuando ha acabado, el perito nos dice: ahora, mire usted. Y he aquí que el mundo (que no ha sido creado una sola vez, sino con tanta frecuencia como ha surgido un artista original) se nos aparece enteramente

diferente del antiguo, pero perfectamente claro. Pasan por la calle mujeres diferentes de las de antaño porque son Renoir, los Renoir en que nos negábamos ayer a ver mujeres. También los coches son Renoir, y el agua, y el cielo: sentimos ganas de pasearnos por el bosque parecido al que el primer día nos parecía todo excepto un bosque, y sí, por ejemplo, una tapicería de matices numerosos, pero en la que faltaban justamente los matices propios de los bosques. Tal es el universo nuevo y perecedero que acaba de ser creado. Durará hasta la próxima catástrofe geológica que desencadenen un nuevo pintor o un nuevo escritor originales.

La pasión humana por los patrones geométricos alcanza quizá su máxima expresión en la Alhambra, que Marcus du Sautoy llama “palacio de la simetría” e invita a visitar con ojos de matemático.

Los romanos usaban pequeñas teselas coloreadas para cubrir los suelos con mosaicos de delfines y de senadores. Pero los musulmanes, a los que estaba denegado el lujo de representar imágenes de seres vivos, por fuerza hubieron de seguir otro camino. (...) Para ellos, la geometría y la simetría eran atributos de un Dios perfecto y formas apropiadas para representar su perfección en el arte. (...) El mundo natural ha descubierto a lo largo de años de evolución que solo aquellos con un ADN superior logran una simetría perfecta. También para el artesano la simetría era la prueba última. En ese tiempo, anterior a la producción industrial en serie que genera copias perfectas, la habilidad necesaria para repetir el diseño de un azulejo una y otra vez, sin errores, era una demostración de auténtica técnica artesanal. (...) Venir a la Alhambra se ha convertido en algo parecido a un peregrinaje para los matemáticos, algo así como jugar a buscar el tesoro intentando encontrar ejemplos de todas las 17 simetrías presentes en las paredes, los suelos y techos del palacio²⁴.

Simetrías que utilizan distintas figuras

geométricas -juntando de diversas maneras cuadrados o rectángulos, rotando hexágonos y estrellas-, juegan con el poder reflectante del agua para destacar la simetría vertical de la arquitectura del edificio, o combinan azulejos de distintos colores en patrones repetitivos.

El ritmo creado por la simetría parece hacer pulsar las paredes, creando el efecto de una imagen en movimiento, insinuando la extensión infinita del espacio. Esta es otra razón por la que los artistas musulmanes se sintieron atraídos por la simetría, que era una expresión artística de la infinita sabiduría y majestuosidad de Dios²⁵.

Simetría también omnipresente en la música, que permite explorar nuevas dimensiones: no solo simetría espacial, sino también temporal y tonal. Bach, con sus Variaciones Goldberg, a la cabeza:

El uso moderno de la simetría en la música tiene raíces antiguas. Uno de los primeros en explotar estas ideas fue el maestro de la utilización de las matemáticas en la música, J. S. Bach. Sus Variaciones Goldberg, publicadas en 1741, son probablemente uno de los mejores ejemplos del sonido de la simetría. Cada movimiento tiene 32 compases que se repiten dos veces. La pieza comienza y finaliza con un aria simple, pero elegante, que fija el motivo, que luego Bach gira y hace cambiar de dirección en las 30 variaciones. Mediante la repetición del aria al final, evoca la figura de uno de los objetos más simétricos, el círculo. (...) Es en el ciclo de cánones donde Bach realmente explota el potencial de la simetría como fuente de variaciones. Un canon, por definición, es un ejemplo de simetría de traslación. Esta es una forma de simetría generada al añadir una copia de la figura con respecto al original, como un motivo decorativo repetido en un patrón de friso alrededor de una vasija. Pero su versión musical es una traslación temporal y no espacial: un desplazamiento en el tiempo. Una voz comienza cantando una frase y luego, después de algunas notas, llega una segunda voz que canta la misma frase por encima de la pri-

mera voz. (...) Bach, sin embargo, no queda satisfecho con la simple traslación en la dimensión temporal, y comienza a aplicar el mismo truco en una dimensión tonal. En el segundo canon (variación número seis), la segunda voz comienza en una nota por encima de la voz principal. El efecto es ahora el de un motivo que trepa en diagonal por una vasijsa²⁶.

Du Sautoy confiesa que las Variaciones Goldberg no le emocionan tanto como otras piezas musicales porque son demasiado perfectas, demasiado simétricas. Ese debió ser el propósito de Bach, que las compuso para aliviar el insomnio del conde que se las encargó: una composición llena de patrones, con pocas sorpresas.

Cuando llegamos al octavo canon, de repente sentimos que las dos voces han confluido. Hay una octava de diferencia entre ambas voces. La belleza de la octava es que nuestro cerebro percibe e identifica, entre estas dos notas, algo que Pitágoras descubrió dos milenios antes del uso de la octava por Bach para completar el círculo²⁷.

Es lugar común decir que música y matemáticas están relacionadas. La relación (volviendo a Wilczek en *A Beautiful Question*) es íntima y conocida desde antiguo...

En todos los instrumentos hay una frecuencia o tono principal, que reconocemos como la nota que está sonando. Pitágoras... descubrió que el tono sigue dos reglas singulares. Esas reglas establecen unas conexiones directas entre los números, las propiedades del mundo físico y nuestro sentido de armonía (que es un aspecto de la belleza). (...) ... dos copias del mismo tipo de cuerda, ambas sujetas a la misma tensión, producen tonos que suenan bien juntos precisamente cuando la longitud de las cuerdas guarda una razón de pequeños números enteros. Así, por ejemplo, cuando la razón de longitudes es 1:2, los tonos forman una octava. Cuando la razón es 2:3, oímos la quinta dominante; cuando la razón es 3:4, la cuarta mayor. En la notación musical (en la clave de C-do-), estas razones equivalen, respectivamente, a tocar dos Cs (dos "dos"), uno por encima del

otro, juntos, C y G (un do y un sol)-, o C y F (un do y un fa). Todos encontramos atractivas estas combinaciones. Son los elementos básicos de la música clásica, y de la mayor parte de la música de folk, pop y rock. (...) Cuando los tonos suenan bien juntos, decimos que están en armonía, o que son concordantes. Lo que descubrió Pitágoras fue que esas armonías que percibimos en los tonos reflejan relaciones en lo que podría parecer ser un mundo completamente distinto, el mundo de los números²⁸.

... pero hay más:

La segunda regla de Pitágoras se refiere a la tensión de la cuerda. La tensión puede ser ajustada de manera fácil y controlada lastrando la cuerda con diferentes pesos. (...) ... el resultado que así obtenemos es aún más extraordinario. Los tonos están en armonía si sus tensiones son razones de los cuadrados de pequeños números enteros. Las mayores tensiones se corresponden con tonos más agudos. Una razón de tensiones 1:4 produce la octava, y así sucesivamente. (...) Esta segunda relación es aún más impresionante que la primera como evidencia de que las Cosas son Números escondidos. Esta segunda relación está mejor camuflada porque los números deben ser procesados -elevados al cuadrado, para ser exactos- para que la relación sea evidente. El asombro al descubrirla es, por tanto, mayor. Esta segunda relación también pone en juego el peso. Y el peso, de manera más inconfundible que la longitud, nos conecta a Cosas en el mundo físico. (...) Estas vibraciones no son sino movimientos periódicos, esto es, movimientos que se repiten a intervalos regulares. También vemos al sol y a los planetas desplazándose en movimientos periódicos por el cielo. Así que ambos deben también emitir sonidos. Sus sonidos crean la Música de las Esferas, una música que inunda el cosmos²⁹.

Música, astronomía y poesía unidas por las matemáticas. Además, nuestras anatomía y fisiología parecen estar programadas, gracias a la evolución, para participar en este juego.

Si la cóclea es el ojo de la audición, el órgano de Corti es su retina. El órgano de Cor-

ti... contiene células ciliadas y neuronas, una célula ciliada por neurona. (...) La frecuencia de disparo (de esas neuronas) es la misma que la frecuencia de estimulación, que a su vez es igual a la frecuencia del tono original. (...) ... puesto que el órgano de Corti descansa sobre la membrana basilar, sus neuronas heredan la respuesta posición-dependiente a frecuencias de esa membrana. Esto es muy importante para nuestra percepción de los acordes musicales, porque significa que cuando varios tonos suenan simultáneamente, sus señales no se mezclan completamente. ¡Las distintas neuronas responden preferencialmente a diferentes sonidos! Estos son los mecanismos fisiológicos que nos permiten lograr discriminar entre tonos diferentes³⁰.

Estas señales llegan luego desde el oído al cerebro:

¿Por qué los tonos con frecuencias que siguen una razón de pequeños números enteros suenan bien juntos? (...) Algunas de las neuronas en el siguiente nivel reciben el estímulo de ambos grupos de disparos primarios. Si las frecuencias de esos disparos primarios siguen una razón de pequeños números enteros, sus señales estarán sincronizadas. Por ejemplo, si los tonos forman una octava, un grupo emitirá disparos al doble de velocidad que el otro, y cada disparo del grupo más lento tendrá la misma, predecible relación con los disparos del más rápido. De esta forma, las neuronas que son sensibles a ambos grupos reciben un patrón repetitivo que es predecible y fácil de interpretar. (...) Si esta idea es correcta, entonces la base de la armonía es el acierto en la predicción, en las fases iniciales de la percepción. Ese éxito en la predicción se experimenta como placer o belleza. Por el contrario, la predicción fallida es fuente de dolor y fealdad. Un corolario de esto es que al expandir nuestras experiencias y aprender, podemos llegar a oír armonías que antes nos estaban ocultas y eliminar esas fuentes de dolor. Históricamente, en la música occidental, la paleta de combinaciones de tonos que eran aceptables ha ido expandiéndose con el tiempo. Cada individuo también puede aprender, por exposición, a

apreciar combinaciones de tonos que al principio resultaban desagradables³¹.

Al igual que ocurre con la pintura, la progresión en estilos musicales a lo largo de la historia es también gradual, mediante un aprendizaje individual y colectivo. Con la exposición a nuevos acordes y melodías aprendemos a disfrutar de nuevas expresiones musicales, a poder predecir, y así encontrar agradables y bellas, combinaciones que antes resultaban disonantes.

El jazz, como la pintura abstracta, no hubiera sido digerible, aceptado y apreciado como armónico, hace apenas unos siglos. *The Jazz Piano Book*, de Mark Levine, un tratado técnico con un reducido público potencial, nos muestra otro ángulo de esa relación entre música y matemáticas. Se dice que muchos matemáticos son aficionados a la música: su formación probablemente les ayuda a disfrutar de la música más que el común de nosotros. No parece aventurado pensar que también se debe dar la relación inversa: los grandes músicos son grandes matemáticos, necesitan serlo. Y entre los intérpretes, los jazzistas deben serlo también, particularmente.

El jazz es, no únicamente, pero sí sobre todo, improvisación. Ahí es donde más se diferencia de otros estilos, en los que la interpretación se ciñe habitualmente a la lectura de la partitura. El intérprete, en general, puede introducir matices en el ritmo, en la musicalidad que logra extraer de lo pautado, pero se atiene a la secuencia y combinación de notas que decidió el autor. El jazzista, sin embargo, cuando improvisa, compone sobre la marcha. Demuestra así tener un dominio del lenguaje musical, una visión matemática tal que es capaz de crear simetría, armonía y belleza de forma aparentemente espontánea. Cuando distintos músicos de jazz, tocando cada uno un instrumento, son capaces de improvisar juntos en una *jam session*, parecen demostrar que existe un lenguaje subyacente común que todos ellos hablan.



La música se escribe en un lenguaje matemático peculiar en el que los números se camuflan en notas y en los intervalos que hay entre ellas. Una octava (por ejemplo, la distancia entre un do y el siguiente do) son seis tonos. Entre do y re, o entre re y mi, hay un tono de distancia. Entre mi y fa, o entre fa y fa sostenido, hay medio tono. La escala diatónica está formada por los intervalos de segunda consecutivos, tonos o semitonos, por ejemplo los que se dan entre las teclas blancas del piano. La escala cromática es la sucesión de doce semitonos consecutivos, incluyendo tanto las teclas blancas como las negras del piano. Un intervalo de tercera menor (do a mi bemol, por ejemplo) tiene un tono y medio, y una tercera mayor (p.ej., do a mi), dos tonos.

Los acordes se forman añadiendo dos o más notas a una nota raíz, o tónica, por intervalos de tercera, mayor o menor. Las tríadas unen de esta manera tres notas. Hay cuatro tríadas posibles: mayor -tercera mayor y tercera menor (entre paréntesis se señalan ejemplos de los tipos de tríadas sobre do como nota raíz, aquí do/mi/sol), menor -tercera menor seguida de tercera mayor (do/mi bemol/sol)-, disminuida -dos terceras menores (do/mi bemol/sol bemol)-,

o aumentada -dos terceras mayores (do/mi/sol sostenido)-. Estas tres notas -o números- así juntadas, utilizando algoritmos tan simples, no son inocuas. Pueden ser utilizadas estratégicamente, como dice Levine, para provocar la respuesta emocional que se persiga:

Debemos ser conscientes de nuestra respuesta emocional ante cada tríada. En la música de programa (música para televisión, para las películas o el teatro), la armonía se utiliza para realzar la respuesta emocional que cada escena requiere. Una tríada mayor suena alegre, fuerte, triunfante. Una tríada menor puede sonar triste, pensativa o trágica. Una tríada disminuida sugiere tensión o agitación. Una tríada aumentada tiene un carácter flotante que sugiere, entre otras cosas, Bambi surgiendo de las brumas al amanecer...³².

Este secreto lo conocen todos los compositores, tanto los creadores de las bandas sonoras de las películas de Disney como los músicos militares que quieren energizar a las tropas. Algunas personas, que tachamos de excesivamente sensibles, lloran hasta al oír la entrada del telediario. No es tan extraño: no es solo que seamos capaces de anticipar que las noticias que el día ha traído serán tan malas como las de ayer o incluso

peores, sino que la sintonía, según haya sido diseñada, puede influir en el ánimo con el que las recibiremos.

La distancia de tres tonos y medio (do a sol, por ejemplo) se llama “quinta perfecta”. Tocadas juntas, o en secuencia, estas notas -tónica y dominante-, se perciben -por guardar una razón matemática concordante que, como veíamos más arriba, ya descubrió Pitágoras- como armónicas. Estas notas son compañeras naturales, y su uso combinado es uno de los ladrillos sobre los que se construye el jazz, al igual que la música clásica o cualquier música.

La representación del Círculo de Quintas, pitagórico en su origen, captura en un simple diagrama un ciclo infinito que contiene todas las notas, escalas, acordes y progresiones.

El Círculo de Quintas es la disposición de las doce notas de la escala cromática de forma que cada nota queda una quinta por debajo (o una cuarta por encima) de la nota precedente. (...) Comenzando por la tonalidad de C (Do mayor) en lo alto del círculo, y moviéndose en sentido contrario a las agujas del reloj a través de las tonalidades de F (Fa mayor), Bb (Si bemol mayor), Eb (Mi bemol mayor), y así sucesivamente. Al seguir el ciclo te aseguras de practicar todo en cada clave. Y, lo que es más importante, significa que lo que practicas se acerca a lo que ocurre en la vida real, puesto que muchas de las progresiones de acordes y de las modulaciones dentro de las melodías siguen ese círculo. Por ejemplo, las raíces de la progresión II-V-I siguen ese ciclo³³.

El Círculo contiene, así, todas las simetrías tonales posibles. Para el estudiante de música es, inicialmente, poco más que una chuleta, una guía útil para simplificar la visualización de todas las armaduras. Para los músicos más avezados, me atrevo a sospechar, es, debe ser, el Todo: la serpiente o dragón que se muerde la cola de los herméticos, el ciclo de Krebs de los bioquímicos.

Donde los demás vemos teclas en el piano, cuerdas en la guitarra o en el bajo, o penta-

gramas, compases y notas, algunos elegidos, quiero creer, ven ese círculo de quintas una fuente inagotable de músicas. Ven modos y escalas, ven relaciones e intervalos, son capaces de intuir, de resolver repentizando, operaciones matemáticas. El Círculo de Quintas es su partitura, su gramática y su vocabulario. Los jazzistas, al improvisar, demuestran saber hacerlo con rapidez, en el momento. Algo que probablemente se mejora con la práctica (en toda magia hay truco) hasta llegar a dominar el lenguaje de las palabras y frases, de las melodías y acordes, que sonarán bien. Pero que evidencia una capacidad especial, un don para visualizar y crear simetrías tonales, y también temporales, a gran velocidad. Continúa Mark Levine:

Ponte en el año 1940 A.C.P. (Antes de Charlie Parker). Eres un joven músico de jazz luchando por aprender cómo improvisar. (...) Tu primera lección teórica consistió en esto: “en un acorde D-7 (re-fa-la-do) puedes tocar, al improvisar, D (re)- F (fa) – A (la) – C (do), la raíz, la tercera, la quinta y la séptima del acorde”. Unos días más tarde, un músico más avezado te dice que también puedes tocar E (mi)- G (sol)- B (si), que son la novena, la undécima y la decimotercera. (...) La educación jazzística ha progresado mucho desde 1940, pero la mayoría de los músicos continuaban tocando las mismas notas sobre un acorde D-7. Lo que ha cambiado es la forma en la que pensamos en las notas. Como aprendimos el alfabeto como A-B-C-D... etcétera, no es sencillo pensar en secuencias que unan una de cada dos letras o notas, como por ejemplo D-F-A-C-E-G-B. Y como aprendimos los números como 1-2-3-4 y así sucesivamente, no nos es fácil concebir secuencias que salten un número, como por ejemplo 1-3 5-7- 9-11-13. Es necesario practicar las escalas para poder usarlas cuando improvises, pero los mejores músicos de jazz conciben las escalas como “el conjunto posible de notas” a tocar sobre un acorde determinado, más que como “do-re-mi-fa-sol”, etc. (...) La escala y el acorde son, fundamentalmente, dos formas de lo mismo³⁴”.

Tener don matemático, recibido o aprendido y luego ejercitado, es imprescindible para hacer los cálculos necesarios para construir un puente que no se caiga o una presa que sepa resistir el empuje del agua que retiene. También lo es, estamos viendo, para componer música o, en ocasiones, hasta para interpretarla.

En el Círculo de Quintas, las notas cuyas combinaciones o intervalos se perciben como más agradables están situadas contiguas unas a otras. La tónica y la dominante o quinta, por tener relación de frecuencias 2:3 (por ejemplo, el do y el sol, C y G en el cifrado americano; luego, avanzando en el sentido de las agujas del reloj, el sol y el re -G/D, y así). O, si nos movemos en sentido inverso a las agujas del reloj, avanzando por cuartas, con relación 3:4 (por ejemplo, desde el do, en lo alto del círculo, al fa -C/F-, luego del fa al si bemol -F/Bb-, etcétera). También contiene el círculo, implícitamente, el intervalo de octava, que tiene una razón 1:2 (do a do, fa a fa, etc.). El Círculo de Quintas puede verse, así, como una representación de los componentes esenciales de la música, de sus “números primos”.

Volviendo a *Finding Moonshine*, de Marcus du Sautoy, vemos que también el concepto de número primo existe en la geometría, en la simetría:

Uno de los descubrimientos más importantes revelados por este nuevo lenguaje que trajo el siglo XIX que fue la teoría de grupos fue que la simetría encerraba un concepto de elementos básicos primarios. Los antiguos griegos sabían que cada número puede ser dividido por números primos -números que a su vez son indivisibles-, y que estos números eran los componentes básicos de todos los demás números. Ese lenguaje decimonónico de la simetría descubrió el hecho más sutil de que, al igual que la división de números, cualquier objeto simétrico también podía ser dividido en ciertos objetos más pequeños cuyo grupo de simetrías era indivisible. Por ejemplo, las rotaciones de un objeto de 15 lados podían ser construidas a partir de las rotaciones de un

pentágono y las de un triángulo. Pero el grupo de rotaciones de estas figuras con un número primo de lados no podían ser divididas en grupos menores de simetrías³⁵.

Los números primos son algo en lo que el temario de matemáticas del bachillerato no quiso o no supo profundizar. Vale la pena hacerlo. El mismo Marcus du Sautoy, en otro libro (*La Música de los Números Primos*), así lo explica:

Los números primos son los auténticos átomos de la naturaleza. Se definen como primos los números indivisibles, es decir, los que no pueden expresarse como producto de dos enteros menores. (...) Los números primos producen en los matemáticos una sensación maravillosa: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23..., números sin tiempo que existen en un mundo independiente de nuestra realidad física. (...) Su importancia para las matemáticas descansa en el hecho de que tienen la capacidad de construir todos los demás números. Cualquier otro número que no sea primo puede construirse multiplicando estos números de base primitiva. Cualquier molécula existente en el mundo físico puede construirse utilizando los átomos de la tabla periódica de los elementos químicos. La lista de los números primos es la tabla periódica del matemático. (...) Sin embargo, a pesar de su aparente simplicidad y de su carácter fundamental, los números primos siguen siendo los objetos más misteriosos que estudian los matemáticos. En una disciplina que se dedica a investigar patrones y orden, los números primos suponen el supremo reto. (...) Las matemáticas se resisten a admitir la posibilidad de que no exista una explicación de cómo la naturaleza elige los números primos. Si las matemáticas no tuviesen una estructura, si no poseyeran una maravillosa simplicidad, no merecerían ser estudiadas. Escuchar un ruido nunca se ha considerado un pasatiempo agradable. Como escribió el matemático francés Henri Poincaré: “el científico no estudia la naturaleza por la utilidad de hacerlo; la estudia porque obtiene placer, y obtiene placer porque la naturaleza es bella. Si no fuera bella

no valdría la pena conocerla y, si no valiera la pena conocer la naturaleza, la vida no sería digna de ser vivida”.

Parece oportuno repetir aquí la cita de H.G. Wells en *Experiment in Autobiography* incluida en el capítulo I:

Con eso no quiero decir que las cosas de las que está hecha la vida cotidiana no me hayan resultado, en su tiempo, incesantemente interesantes, excitantes y deliciosas: los choques de personalidades, la música y la belleza, comer y beber, mucho juego sin sentido, mucha risa, curarse tras enfermarse, los placeres, los placeres muy reales de la vanidad. No quiero ser desagradecido con la vida por sus sustancias fundamentales. Pero ya he tenido mi buena cuota de ellas y no quiero seguir vivo simplemente por tener más de lo mismo.

Las experiencias intelectuales (la parte de nuestras vidas dedicada a perseguir entender y conocer, que en esencia se puede resumir en la búsqueda de la belleza, de la simetría) merecen ser contadas y compartidas.

Las matemáticas ayudan a buscar y encontrar belleza en la naturaleza y en el arte y, por esa razón, da igual cuáles sean nuestros gustos o profesiones, no conviene dejarlas abandonadas en el trastero junto al resto de los libros de texto que nos forzaron a leer en el colegio.

Las matemáticas son, ante todo, el arte de contar. Son números, y debemos ser cuidadosos y precisos en su manejo, ya sean números muy, muy grandes como el googol, o números muy, muy pequeños,

porque están en juego cosas serias: la estabilidad del puente y de la presa, la armonía de la música que unos componen y otros interpretan o escuchan, o hasta la supervivencia de la especie humana... como ilustra Martin Reeves en su libro *Just Six Numbers*:

Otro número, E, cuyo valor es 0.007, define la firmeza con la que los núcleos atómicos están unidos, y cómo todos los átomos en la tierra fueron creados. Su valor controla la energía que emana del sol... que convierte 0.007 de su masa en energía cuando se fusiona en helio. Es esencialmente este número, E, el que determina cuánto tiempo pueden vivir las estrellas. (...) Si E fuese 0.006 o 0.008, nosotros no existiríamos³⁶.

Pero siendo todo eso, las matemáticas son más. Son el prisma que necesitamos usar para ver el universo tal y como es -y no como alguien, en el algún momento de inspiración, dijo que el mundo era- y apreciar su belleza. Volviendo a Frank Wilczek:

Aquellos que creen sin ver están bendecidos por el gozo de la certeza. Pero son una certeza frágil y un gozo hueco.

Aquellos cuya fe no es pasiva, sino que se enfrenta y engrana con la realidad, recibirán otra bendición, más plena y satisfactoria, a través de la armonía entre creencia y experiencia. Bienaventurados son aquellos que creen en lo que ven³⁷.

Con ayuda de las matemáticas y de la imaginación, todo está a nuestro alcance; podemos llegar a ver todo. Afortunados son aquellos que creen en lo que ven.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Lázaro Carreter, Fernando (25 de agosto de 2002). ¿Especialidad?: generalista. Tribuna El dardo en la palabra. *El País*. https://elpais.com/diario/2002/08/25/opinion/1030226407_850215.html.

² "The feeling is widespread that science, like magic and alchemy in the Middle Ages, is practised and can be understood only by a small esoteric group. (...) Thus, in

a certain sense, the popularization of science is a duty to be performed, a duty to give courage and comfort to the men and women of good will everywhere who are gradually losing their faith in the life of reason. [...] What most popular books on mathematics have tried to do is either to discuss it philosophically, or to make clear the stuff once learned and already forgotten. In

this respect our purpose in writing has been somewhat different. "Haute vulgarisation" is the term applied by the French to that happy result which neither offends by its condescension nor leaves obscure in a mass of technical verbiage".

³ "The whirling dance of the electron can be seen by no one; the most powerful telescopes can reveal only a meagre bit of the distant stars and nebulae and the cold far corners of space. But with the aid of mathematics and the imagination the very small, the very large- all things may be brought within man's domain".

⁴ "To grasp the meaning and importance of mathematics, to appreciate its beauty and its value, arithmetic must first be understood, for mostly, since its beginning, mathematics has been arithmetic in simple or elaborate attire. Arithmetic has been the queen and the handmaiden of the sciences from the days of the astrologers of Chaldea and the high priests of Egypt to the present days of relativity, quanta, and the adding machine. Historians may dispute the meaning of ancient papyri, theologians may wrangle over the exegesis of Scripture, philosophers may debate over Pythagorean doctrine, but all will concede that the numbers in the papyri, in the Scriptures and in the writings of Pythagoras are the same as the numbers of today. As arithmetic, mathematics has helped to cast horoscopes, to make calendars, to predict the risings of the Nile, to measure fields and the height of the Pyramids, to measure the speed of a stone as it fell from the tower of Pisa, the speed of an apple as it fell from a tree in Woolthorpe, to weigh the stars and the atoms, to mark the passage of time, to find the curvature of space. And although mathematics is also the calculus, the theory of probability, the matrix algebra, the science of the infinite, it is still the art of counting".

⁵ "Counting... is a precise operation. It may be wonderful but there is nothing vague or mysterious about it. I you count something, the answer you get is either perfect or all wrong; there is no half way. It is very much like catching a train. You either catch it or you miss it and if you miss it by a split second you might as well have come a week late. [...] A big number is big, but it is definite and it is finite".

⁶ "(...) Words of wisdom are spoken by children at least as often as by scientists. The name "googol" was invented by a child (Dr Kasner's nine-year-old nephew) who was asked to think up a name for a very big number, namely, 1 with a hundred zeros after it. He was very certain that this number was not infinite, and therefore equally certain that it had to have a name. At the same time that he suggested "googol" he gave a name for a still larger number: "Googolplex". (...) The googolplex then, is a specific finite number, with so many zeros after the 1 that the number of zeros is a googol. (...) You will get some idea of the size of this very large but finite number from the fact that there would not be enough room to write it, if you went to the

farthest star, touring all the nebulae and putting down zeros every inch of the way".

⁷ "And are you not, said Fook, leaning anxiously forward, a greater analyst than the Googolplex Star Thinker in the Seventh Galaxy of Light and Ingenuity which can calculate the trajectory of every single dust particle throughout a five-week Dangrabad Beta sand blizzard?".

⁸ "In dealing with the science of the infinite, Cantor realized that the first requisite was to define terms. His definition of "infinite class", which we shall paraphrase, rests upon a paradox. AN INFINITE CLASS HAS THE UNIQUE PROPERTY THAT THE WHOLE IS NO GREATER THAN SOME OF ITS PARTS. That statement is as essential for the mathematics of the infinite as THE WHOLE IS GREATER THAN ANY OF ITS PARTS is for finite arithmetic. (...) We shall then require an entirely new kind of number, nowhere to be found in finite arithmetic, to describe the cardinality of an infinite class. Accordingly, the totality of integers was assigned the cardinality "Aleph". (...) To Cantor's alephs, then, we may ascribe the same existence as to the number 7. An existence statement free from self-contradiction may be made relative to either. For that matter, there is no valid reason to trust in the finite more than in the infinite. It is as permissible to discard the infinite as it is to reject the impressions of one's senses. It is neither more nor less scientific to do so. In the final analysis, this is a matter of faith and taste, but not on a par with rejecting the belief in Santa Claus; Infinite classes, judged by finite standards, generate paradoxes much more absurd and a great deal less pleasing than the belief in Santa Claus; but when they are judged by the appropriate standards, they lose their odd appearance, behave as predictably as any finite integer. At last in its proper setting, the infinite has assumed a respectable place next to the finite, just as real and just as dependable, even though wholly different in character".

⁹ "In the infancy of geometry, it was discovered that it was possible to measure the area of a figure bounded by straight lines. Indeed, geometry was devised for that very purpose- to measure the fields in the valley of the Nile, where each year the floods from the rising river obliterated every mark made by the Farmer to indicate which fields were his and which his neighbour's. Measuring areas bounded by curved lines presented greater difficulties, and an effort was made to reduce every problem of this type to one of measuring areas with straight boundaries. Clearly, if a square can be constructed with the area of a given circle, by measuring the area of the square, that of the circle is determined. The expression "squaring of the circle" derives its name from this approach. The number π is the ratio of the circumference of a circle to its diameter. The area of a circle of radius r is given by the formula πr^2 . Now the area of a square with side of length A is A^2 . Thus, the algebraic statement: $A^2 = \pi r^2$ expresses the equivalence in area between a given square and a circle. Taking square roots of both sides of this equation yields

$A = \sqrt{\pi r}$. As r is a known quantity, the problem of squaring the circle is, in effect, the computation of the value of π . Since mathematics have succeeded in computing π with extraordinary exactitude, what then is meant by the statement "It is impossible to square the circle"? Unfortunately, this question is still shrouded in many misapprehensions. But these would vanish if the problem were understood".

¹⁰ "According to an old tale, the Grand Vizier Sissa Ben Dahir was granted a boon for having invented chess for the Indian King, Shirham. Since this game is played on a board with 64 squares, Sissa addressed the king: "Majesty, give me a grain of wheat to place on the first square, and two grains of wheat to place on the second square, and four grains of wheat to place on the third, and eight grains of wheat to place on the fourth, and so, Oh, King, let me cover each of the 64 squares of the board." "And is that all you wish, Sissa, you fool?" exclaimed the astonished King. "Oh, Sire," Sissa replied, "I have asked for more wheat than you have in your entire kingdom, nay, for more wheat than there is in the whole world... (...) Now the number of grains of wheat which Sissa demanded is $2^{64} - 1$ (...) Another remarkable way in which 2^{64} arises is in computing the number of each person's ancestors from the beginning of the Christian era- just about 64 generations ago. In that length of time, assuming that each person has 2 parents, 4 grandparents, 8 great-grandparents, etc., and not allowing for incestuous combinations, everyone has at least 2^{64} ancestors, or a little less than eighteen and a half quintillion lineal relations alone. A most depressing thought".

¹¹ "... the new physics and the new logic have changed our outlook as profoundly as they have changed our basic distinction between matter and energy. "We start prejudiced against probability, grudging it as a makeshift, and in favor of causality," and we end convinced that the outlines of the world are "not hard, but fuzzy," and that our most exact scientific laws are merely approximations good enough for our crude senses. Thus, in place of the syllogism and the rules of formal logic our ideas about the physical universe must be gauged entirely by the rules of probable inference. We translate "Socrates is a man; all men are mortal, therefore Socrates is mortal," as a statement about the world of fact, into, "Socrates will probably die, because so far as we know all men before him have died." "The uncertainties of the world we now ascribe not to the uncertainties of our thoughts, but rather to the character of the world around us. It is a more sensible, more mature and more comprehensible view." Here we recall the moving words of Charles Peirce: "All human affairs rest upon probabilities, and the same thing is true everywhere. If man were immortal, he could be perfectly sure of seeing the day when everything in which he had 'trusted should betray his trust, and, in short, of coming eventually to hopeless misery. He would break down, at last, as every good fortune, as every dynasty, as every

civilization does. In place of this we have death. "But what, without death, would happen to every man, with death must happen to some man ... It seems to me that we are driven to this, that logicity inexorably requires that our interests shall not be limited. They must not stop at our own fate, but must embrace the whole community".

¹² "Geometry, whatever others may think, is the study of different shapes, many of them very beautiful, having harmony, grace and symmetry. Of course, there are also fat books written on abstract geometry, and abstract space in which neither a diagram nor a shape appears. This is a very important branch of mathematics, but it is not the geometry studied by the Egyptians and the Greeks".

¹³ "I had a vague idea of what "symmetry" meant. I knew that I was symmetrical, at least on the outside. Whatever I had on the left side of my body, there was a mirror image of it in my right side. But a triangle, it seemed, had much more symmetry than just the simple mirror symmetry. You could spin it round as well, and the triangle still looked the same. I began to realize that I wasn't actually sure what it meant to say that something was symmetrical. The book stated that the equilateral triangle had six symmetries. As I read on, I began to see that the triangle's symmetry was captured by the things I could do to it that would leave it looking the same. (...) The book was pushing me to think of a symmetry as an action I could perform on the triangle to replace it inside its outline, rather than some innate property of the triangle itself. (...) I could flip the triangle over in three ways. Each time two corners swapped places. I could also spin the triangle by a third of a full rotation, either clockwise or anticlockwise. That made five symmetries. What was the sixth? (...) What I found was that they'd included as a symmetry just leaving the triangle where it was. Curious... But I soon saw that if symmetry meant anything you could do to a triangle that kept it inside its outline, then not touching it at all -or equivalently, picking it up and putting it back in exactly the same place- was also an action that had to be included".

¹⁴ "Of all the things I had seen in those books, it was group theory -the language of symmetry- that intrigued me the most. It seemed to take a world that was full of pictures and turn it into words. The dangerous ambiguities that plague the visual world, with its plethora of optical illusions and mirages, were made transparent by the power of this new grammar".

¹⁵ "Why, though, is symmetry so pervasive in nature? It is not just a matter of aesthetics. Just as it is for me and mathematics, symmetry in nature is about language. It provides a way for animals and plants to convey a multitude of messages, from genetic superiority to nutritional information. Symmetry is often a sign of meaning, and can therefore be interpreted as a very basic, almost primeval form of communication. (...)

The honeybee likes the pentagonal symmetry of the honeysuckle, the hexagonal shape of the clematis, and the highly radial symmetry of the daisy or sunflower. The bumblebee prefers mirror symmetry, such as the symmetry of the orchid, pea or foxglove. The eyesight of bees has evolved sufficiently for them to pick out these significant shapes. For in symmetry there is sustenance. The bees that are drawn to shapes with pattern are the insects that will not go hungry. For the bee, survival of the fittest means becoming an expert in symmetry. (...) Because the plant is equally dependent on attracting the bee to its flower for pollination and prolonging its genetic heritage, it too has played its part in this natural dialogue. The flower that can achieve perfect symmetry attracts more bees and survives longer in the evolutionary battle. (...) Symmetry denotes something special, something with meaning".

¹⁶ "Although symmetry is genetically hard to achieve, many natural phenomena will gravitate towards symmetry as the most stable and efficient state. The inanimate world is full of examples of the drive for symmetry of form. When a soap bubble forms it tries to assume the shape of a perfect sphere, the three-dimensional shape with the most symmetry. However much you rotate or reflect a sphere, its shape still looks the same. But for the soap film it is the efficiency of the shape of the sphere that appeals. The energy in the soap film is directly proportional to the surface area of the bubble. The sphere is the shape with the smallest surface area that can contain a given volume of air, and hence it is the shape that uses the least energy. Like a stone rolling down a mountain to the point of lowest energy in the valley below, the symmetrical sphere represents the optimal shape for the soap film. The raindrop as it falls through the sky is not in fact the tear shape that artists often paint - that's just an artistic convention to give a sense of rain in motion. The true picture of a drop of water falling from the sky is a perfect sphere".

¹⁷ "Scientists have discovered mysterious symmetries hiding at the heart of many parts of the natural world - fundamental physics, biology and chemistry all depend on a complex variety of symmetrical objects. The snowflake and the deadly HIV virus both exploit symmetry. In the chemical world, a diamond gets its strength from its highly symmetrical arrangement of carbon atoms".

¹⁸ "Symmetry continues to inform the way we craft words in songs and poetry. From the first cave paintings to modern art, from primitive drumbeats to contemporary music, artists have continually pushed symmetry to the extremes. (...) The word symmetry conjures to mind objects which are well balanced, with perfect proportions. Such objects capture a sense of beauty and form".

¹⁹ "Is the world a work of art?".

²⁰ "Different artists have different styles. (...) Two

obsessions are the hallmarks of Nature's artistic style: -Symmetry -a love of harmony, balance, and proportion. - Economy -satisfaction in producing an abundance of effects from very limited means".

²¹ "1. We human beings are, above all, visual creatures. Our sense of vision, of course, and in a host of less obvious ways our deepest modes of thought, are conditioned by our interaction with light. Each of us, for example, is born to become an accomplished, if unconscious, practitioner of projective geometry. That ability is hardwired in our brains. It is what allows us to interpret the two-dimensional image that arrives on our retinas as representing a world of objects in three-dimensional space. (...) In the more advanced, modern part of physics we learn that light itself is a form of matter, and indeed that matter in general, when understood deeply, is remarkably light-like. So again, our interest in and experience with light, which is deeply rooted in our essential nature, proves fortunate. Creatures that, like most mammals, perceive the world primarily through the sense of smell would have a much harder getting to physics as we know it, even if they were highly intelligent in other ways. (...) Birds, on the other hand, are visual creatures like us. Beyond that, their way of life would give them an extra advantage over humans in getting started on physics. For birds, with their freedom of flight, experience the essential symmetry of three-dimensional space in an intimate way that we do not. (...) A general philosophical point, which these considerations illustrate, is that the world does not provide its own unique interpretation. which support very different interpretations of the world's significance. In this way our so-called Universe is already very much a multiverse".

²² "2. Successful perception involves sophisticated inference, because the information we sample about the world is both very partial and very noisy. For all of our innate powers, we must also learn how to see by interacting with the world, forming expectations, and comparing our predictions with reality. When we form expectations that turn out to be correct, we experience pleasure and satisfaction. Those reward mechanisms encourage successful learning. They also stimulate -indeed, at base they are- our sense of beauty. Putting these observations together, we discover an explanation of why we find interesting phenomena (phenomena we can learn from!) in physics beautiful. An important consequence is that we especially value experience that is surprising, but not too surprising. Routine, superficial recognition will not challenge us, and may not be rewarded as active learning. On the other hand, patterns whose meaning we cannot make sense of at all will not offer rewarding experience either; they are noise".

²³ "And here we are lucky too, in that Nature employs, in her basic workings, symmetry and economy of means. For these principles, like our intuitive understanding of light, promote successful prediction and learning.

From the appearance of part of a symmetric object we can predict (successfully!) the appearance of the rest; from the behaviour of parts of natural objects we can predict (sometimes successfully!) the behaviour of the wholes. Symmetry and economy of means, therefore, are exactly the sorts of things we are apt to experiment as beautiful".

²⁴ "The Romans used small pieces of coloured tile to cover their floors with mosaics of dolphins and senators. But the Muslims, denied the luxury of depicting images of living things, were forced in another direction. (...) For them, geometry and symmetry were attributes of a perfect God and suitable ways to represent his perfection in art. (...) The natural world has discovered over years of evolution that only those with superior DNA achieve perfect symmetry. For the artisan too, symmetry was the ultimate test. In an age that predated the industrial mass production of perfect copies, the skill involved in repeating a design for a tile over and over again, with no flaws, was a mark of true craftsmanship. (...) It has become something of a pilgrimage for mathematicians to come to the Alhambra and, as if taking part in a treasure hunt, to try to find examples of all 17 symmetries on the palace's walls, floors and ceilings".

²⁵ "There is a rhythm created by the symmetry which almost makes the walls pulsate, giving the effect of a moving image, hinting at the infinite expanse of space. This is another reason why the Muslim artists were drawn by symmetry: as an artistic expression of God's infinite wisdom and majesty".

²⁶ "The modern use of symmetry in music has old roots. One of the first to exploit these ideas was the master of using mathematics in music, J. S. Bach. His Goldberg Variations, published in 1741, is perhaps one of the best examples of the sound of symmetry. (...) Each movement consists of 32 bars repeated twice. The piece begins and ends with a simple yet elegant aria which establishes the motif that Bach proceeds to twist and turn over the 30 variations. By repeating the aria at the end, he evokes the shape of one of the most symmetrical of objects: the circle. (...) It is within the cycle of canons that Bach really exploits the potential of symmetry as a source of variations. A canon by definition is an example of translational symmetry. This is the kind of symmetry produced by adding a copy of a shape with respect to the original, like a decorative motif being repeated in a "frieze" pattern around the top of a pot. But the musical version is a temporal translation rather than a spatial one - a shift in time. One voice starts singing a phrase, and then after a few notes a second voice comes in and sings the same phrase over the top of the first voice. (...) Bach, though, is not satisfied with simple translation in the temporal dimension, and starts to play the same trick in the pitch dimension. In the second canon (variation number six) the second voice starts one note higher than the lead voice. The effect is now a diagonal motif spiralling up the side of a pot".

²⁷ "By the time we reach the eight canon we suddenly feel the two voices have come together again. There is an octave difference between the voices. The beautiful thing about the octave is that our brain senses and identity between these two notes, something Pythagoras discovered two millennia before Bach's use of the octave to complete the circle".

²⁸ "... in all instruments there is a principal tone, or pitch, that we recognize as the note being played. Pythagoras (...) discovered that the pitch obeys two remarkable rules. Those rules make direct connections among numbers, properties of the physical world, and our sense of harmony (which is one face of beauty). (...) ... two copies of the same type of string, both subject to the same tension, make tones that sound good together precisely when the length of the strings are in ratios of small whole numbers. Thus, for example, when the ratio of lengths is 1:2, the tones form an octave. When the ratio is 2:3, we hear the dominant fifth; when the ratio is 3:4, the major fourth. In musical notation (in the key of C) these correspond to playing two Cs, one above the other, together, a C-G, or C-F, respectively. People find these combinations appealing. They are the main building blocks of classic music, and of most folk, pop and rock music. (...) When tones sound good together, we say they are in harmony, or that they are concordant. What Pythagoras discovered, then, is that the perceived harmonics of tones reflect relationships in what might seem to be an entirely different world - the world of numbers".

²⁹ "Pythagoras's second rule involves the tension of the string. The tension can be adjusted, in a controlled and readily measurable way, by burdening the string with different amounts of weight. (...) .. here the result is even more remarkable. The tones are in harmony if the tensions are ratios of squares of small whole numbers. Higher tensions correspond to higher pitches. Thus a 1:4 ratio of tensions produces the octave, and so forth. (...) This second relationship is even more impressive than the first as evidence that Things are hidden Numbers. The relationship is better hidden because the numbers must be processed - squared, to be exact - before the relationship becomes evident. The shock of discovery is accordingly greater. Also, the relationship brings in weight. And weight, more unmistakably than length, links us to Things in the material world. (...) These vibrations are nothing but periodic motions; that is, motions which repeat themselves at regular intervals. We also see the Sun and planets move in periodic motions across the sky, and infer their periodic motion in space. So they too must emit sound. Their sounds form the Music of the Spheres, a music that fills the cosmos".

³⁰ "If the cochlea is the eye of audition, the organ of Corti is its retina. The organ of Corti consists of hair cells and neurons, one hair cell per neuron. (...) The frequency of the firing (of those neurons) is the same as the frequency of stimulation, which in turn is the same as the frequency of the original tone. (...) Because

the organ of Corti abuts the basilar membrane, its neurons inherit the position-dependant frequency response of that membrane. This is very important for our perception of chords, because it means that when several tones sound simultaneously, their signals do not get completely scrambled. Different neurons respond preferentially to different tones! This is the physiological mechanisms that allows us to do such a good job of discriminating between different tones".

³¹ "Why do tones whose frequencies are in ratios of small whole numbers sound good together? (...) Some of the neurons at the next level will receive inputs from both sets of firing primaries. If the frequencies of the primaries are in a ratio of small whole numbers, then their signals will be synchronized. For example, if the tones form an octave, one set will be firing twice as fast as the other, and every firing of the slower one will have the same predictable relationship to the firing of the former. Thus, the neurons sensitive to both will then get a repetitive pattern that is predictable and easy to interpret. (...) If this idea is right, then the basis of harmony is successful prediction in the early stages of perception. Such success is experienced as pleasure or beauty. Conversely, unsuccessful prediction is a source of pain, of ugliness. A corollary is that by expanding our experience, and learning, we can come to hear harmonies that were previously hidden to us, and to remove sources of pain. Historically, in Western music, the palette of acceptable tone combinations has expanded over time. Individuals can also learn, by exposure, to enjoy tone combinations that at first seem unpleasant".

³² "Be aware of your emotional response to each triad. In program music (music for TV, movies, the theatre) harmony is used to enhance whatever emotional response a scene demands. A major triad sounds happy, strong, or triumphant. A minor triad may sound sad, pensive, or tragic. A diminished triad suggests tension, agitation. An augmented triad has a floating quality, suggesting, among other things, Bambi emerging from the mist at dawn...".

³³ "The cycle of fifths is an arrangement of all twelve notes of the chromatic scale, each note a fifth lower (or a fourth higher) than the preceding note. As you go around the cycle, think of each note as representing a key. (...) Start with the key of C at the top of the circle, and move counterclockwise through the keys of F, Bb, Eb, and so on. Using the cycle ensures that you practice everything in every key. More importantly, it means that your practicing approximates what happens in real life, because many of the chord progressions and modulations within tunes follow the cycle. For instance, the roots of a II-V-I progression follow the cycle".

³⁴ "Take yourself to the year 1940 B.C.P. (Before Charlie Parker). You are a young jazz musician struggling to learn how to improvise. (...) Your first theory lesson consists of the following: "On a D-7 chord you can play

D-F-A-C, the root, third, fifth and seventh on the chord". A few days later, a more educated musician tells you that you can also play E-G-B, the ninth, eleventh and thirteenth. (...) Jazz education has come a long way since 1940, but most musicians still play the same notes on a D-7 chord. What has changed is the way we think about the notes. Because we learned the alphabet as A-B-C-D, and so on, it's not easy to think of every other letter of the alphabet, as in D-F-A-C-E-G-B. And because we learned numbers as 1-2-3-4, and so forth, it's not easy to think of every other number, as in 1-3-5-7-9-11-13. You certainly have to practice scales in order to use them when you improvise, but the best jazz musicians think of them more as an "available pool of notes" to play on a given chord, rather than as "do-re-me-fa-sol", and so on. (...) The scale and the chord are, for the most part, two forms of the same thing".

³⁵ "One of the most important discoveries revealed by this new nineteenth-century language of group theory was that behind symmetry lay a concept of prime building blocks. The Ancient Greeks knew that every number can be divided into prime numbers - indivisible numbers - and that these numbers were the building blocks of all other numbers. The nineteenth-century language for symmetry threw up the far subtler fact that, just like the division of numbers, every symmetrical object could also be divided into certain smaller objects whose collection of symmetries were indivisible. For example, the rotations of a 15-sided figure could be built from the rotations of a pentagon and the rotations of a triangle. But the group of rotations of these "prime-sided" figures could not be divided up into smaller groups of symmetries".

³⁶ "Another number, E , whose value is 0.007, defines how firmly atomic nuclei bind together and how all the atoms on Earth were made. Its value controls the power from the Sun... (which) converts 0.007 of its mass into energy when it fuses into helium. It is essentially this number, E , that determines how long stars can live. (...) If E were 0.006 or 0.008, we could not exist".

³⁷ "Those who believe without seeing are blessed with the joy of certainty. But it is a fragile certainty, and a hollow joy. Those whose faith is not passive, but engages reality, will receive a second, more fulfilling blessing in the harmony of belief and experience. Blessed are those who believe what they see".



Desde la distancia

La opinión de los científicos españoles en el extranjero

NACE RAICEX:

UNA RED DE TALENTO CIENTÍFICO ESPAÑOL POR EL MUNDO



La sede de la Fundación Ramón Areces, acogió la presentación de RAICEX, la Red de Asociaciones de Investigadores y Científicos Españoles en el Exterior, que representa a 15 asociaciones registradas en diversos países que agrupan a más de 3.500 investigadores y científicos.

RAICEX nace con los objetivos de apoyar a los investigadores en materia de movilidad y desarrollo profesional; visibilizar el valor de la Ciencia y la labor de los científicos; favorecer las relaciones internacionales y la cooperación en materia de investigación, ciencia y tecnología; y compartir la experiencia y los conocimientos adquiridos en los diferentes sistemas de investigación y ciencia en el exterior, contribuyendo así al progreso de la ciencia.



PRIMER ENCUENTRO DE CIENTÍFICOS ESPAÑOLES EN MEXICO



La Red de Científicos Españoles en México (RECEMX) celebró en la Ciudad de México su primer encuentro de investigadores gracias al patrocinio de la Fundación Ramón Areces y de la Consejería Cultural y Científica del Centro Cultural de España en México.



AYUDAS A

10

NUEVOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES

La Fundación Ramón Areces acaba de adjudicar ayudas a 10 nuevos proyectos de investigación en el ámbito de las Ciencias Sociales que serán realizados por investigadores menores de 40 años en las Universidades de Salamanca, Islas Baleares, la Laguna, Oviedo, Carlos III y Complutense de Madrid, Pública de Navarra, Pompeu Fabra y Autónoma de Barcelona y el Instituto de Empresa. El total de las cuantías asignadas asciende a 360.000 euros.

¿Cómo está afectando la llegada creciente de robots al empleo en las plantas industriales de Europa? ¿Es posible anticiparse a nuevas crisis financieras? ¿Qué lleva a la población inmigrante a elegir una ubicación u otra para vivir? ¿Cuál es el rol de la familia en el proceso de envejecimiento de la población? Estas son algunas de las pregun-

tas a las que intentarán dar respuesta estos investigadores.



Así, **José Ignacio Antón Pérez**, profesor de la Universidad de Salamanca, va a examinar el efecto del incremento de los intercambios comerciales -en especial, con China- y de la incorporación de robots a la industria sobre las condiciones de trabajo en Europa durante el periodo 1995-2015 en el sector manufacturero y en el conjunto de la economía. Por su parte, **Raquel de la Cruz Modino**, investigadora de la Universidad de La Laguna, va a analizar las respuestas que diversas instituciones de gobierno son capaces de dar ante un shock ambiental concreto, como una erupción volcánica. Mientras tanto, **Ana González Urteaga**, que trabaja en la Universidad Pública de Na-

varra, estudiará las recientes crisis financieras para conocer los mecanismos de contagio y, de esta manera, identificar el riesgo sistémico y anticipar las futuras crisis financieras y su evolución. También buscará cuál es la regulación más idónea para mejorar la estabilidad financiera. En este mismo ámbito, **Pedro Gete Sánchez**, del Instituto de Empresa, analizará y cuantificará cuándo es (y cuándo no es) socialmente óptimo dar trato preferencial a mecanismos de estabilización financiera. Además, el proyecto propondrá un nuevo marco cuantitativo para evaluar el diseño de dichos mecanismos en Europa.



En el campo de la enseñanza, **Pau Balart Castro**, investigador de la Universidad de las Islas Baleares, va a estudiar las impli-



caciones de varios desarrollos en las áreas de Economía del Comportamiento y Ciencia de la Decisión para el diseño de programas e intervenciones educativas. **Raúl Santaaulalia Llopis**, de la Universidad Autónoma de Barcelona, va a explorar las disparidades educativas en el comportamiento sexual real de riesgo para obtener una mejor comprensión de la relación entre la educación y la probabilidad de infección del VIH en el África Subsahariana. Allí, se ha comprobado que la mayoría de las infecciones por VIH se deben a relaciones sexuales heterosexuales y comportamiento sexual de riesgo. También en Barcelona y abordando una temática igualmente social, **Joan Monrás Oliu**, de la Universidad Pompeu Fabra, se ha propuesto entender mejor la relación entre inmigración y el espacio geográfico. Explica este profesor

que hasta ahora todas las investigaciones se han centrado en intentar entender cuáles son las consecuencias en el mercado laboral de la inmigración. Aun así, de estos trabajos anteriores, no se desprenden las razones por las que los inmigrantes deciden vivir en unas ubicaciones frente a otras. También en el campo de la demografía, **María Isabel Sánchez Domínguez**, de la Universidad Complutense, va a analizar el rol que representa la familia dentro del proceso de envejecimiento de la población en España. Igualmente, se propone entender mejor las implicaciones que, a su vez, dicho proceso produce sobre las estructuras y dinámicas familiares.



Antoine Loeper, de la Universidad Carlos III de Madrid, quiere dar respuesta a esta otra

pregunta: ¿por qué a veces los políticos logran superar sus diferencias ideológicas e implementan una respuesta de política eficiente ante un shock, y porque otras veces dejan que las políticas obsoletas persistan? Así, analizará cómo actúan la polarización y las negociaciones políticas en un mundo cambiante para comprender qué motivos y mecanismos impulsan el cambio de política en una situación o en otra. Por su parte, **Ignacio Fernández Chacón**, de la Universidad de Oviedo, va a analizar los problemas a los que en estos momentos se enfrenta la elaboración de un cuerpo uniforme en materia de compra-venta de consumo a nivel europeo. Ello permitiría, a su juicio, una mayor internacionalización de las empresas del sector de la distribución y ampliar la oferta disponible para los consumidores y usuarios europeos.

DIEZ AÑOS DE LA CÁTEDRA FUNDACIÓN RAMÓN ARECES DE DISTRIBUCIÓN COMERCIAL



La Cátedra Fundación Ramón Areces de Distribución Comercial (www.catedrafundacionarecesdcuniovi.es) ha cumplido en 2018 su décimo Aniversario. Fruto del convenio de colaboración entre la Universidad de Oviedo y la Fundación Ramón Areces, la Cátedra se dedica al análisis, la investigación, la docencia y formación de los jóvenes profesionales en lo relativo a la actualidad, realidad, problemática y perspectivas de las diferentes áreas de Distribución Comercial. El programa de la Cátedra se inscribe en el seno de la Universidad de Oviedo y está coordinado por profesorado de Marketing y de Derecho Civil de dicha Universidad.

La Cátedra cuenta, desde sus inicios, con el patrocinio de la Fundación Ramón Areces que, en estos diez años, ha destinado más de 1.500.000 euros a los diferentes programas de investigación, formación y difusión del conocimiento realizados, de los cuales 200.000 euros corresponden a ayudas de matrícula para el alumnado del Curso de Experto y Master en Retail impartidos por la Cátedra.

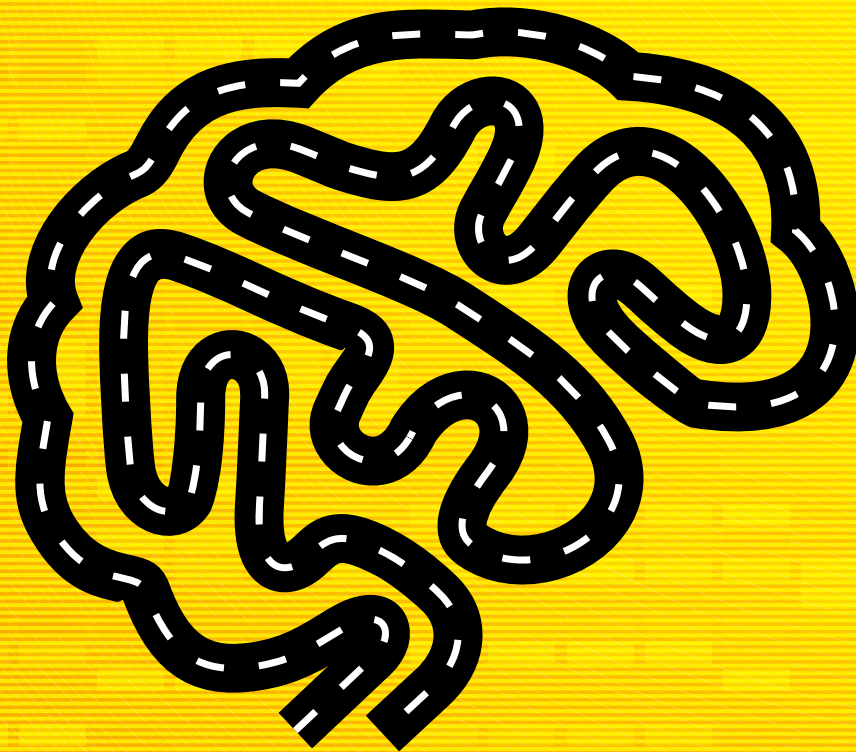
En los diez años de actividad, la Cátedra ha organizado en la Universidad de Oviedo un total de 46 actividades académicas (jornadas técnicas, seminarios, reuniones científicas, mesas redondas y conferencias) en las que han participado como ponentes 190 personas expertas nacionales e internacionales del mundo de la empresa, de la consultoría y profesorado investigador de reconocido prestigio (Mauro Guillén, Aradhna Krishna, Roland Rust, Ko de Ruyter, Wagner Kamakura, Kusum Ailawadi, Michel Wedel, entre otras personas).

Para **Raimundo Pérez-Hernández y Torra**, director de la Fundación Ramón Areces, "en diez años la Cátedra se ha consolidado como un programa de formación de excelencia en el ámbito de la Distribución Comercial único en nuestro país. El éxito de este proyecto no hubiera sido posible sin el excelente trabajo realizado por el equipo de profesores de la Universidad de Oviedo y la dedicación de los alumnos".

Por su parte, el rector de la Universidad de Oviedo, **Santiago**

García Granda, destaca que "la colaboración empresa-universidad, más allá del mecenazgo, es de vital importancia para el desarrollo de la sociedad actual. En la Universidad de Oviedo apostamos por canalizar esta colaboración a través de la combinación eficiente de dos instrumentos, la cátedra de empresa y la Fundación Universidad de Oviedo. Una de nuestras cátedras de referencia es la Cátedra Fundación Ramón Areces de Distribución Comercial, que en 2018 cumple diez años. Aparte de las connotaciones entrañables que don Ramón Areces y su Fundación representan para el Principado de Asturias y para su Universidad, la actividad de la Cátedra, su singularidad y su extraordinario significado para la Universidad de Oviedo merecen la satisfacción de celebrar su décimo aniversario, con profundo agradecimiento a la Fundación Ramón Areces y la felicitación a quienes la hacen realidad año tras año. Nada nos complacería más que seguir celebrando aniversarios de la Cátedra Fundación Ramón Areces de Distribución Comercial".

fundacionareces.tv



Más de 2.000 conferencias magistrales de expertos en Salud, Innovación, Nuevas Tecnologías, Nanociencias, Astronomía, Biotecnología, Ciencias del Mar, Energía, Cambio Climático, Big Data, Economía, Economía de la Educación, Cambio Demográfico, Bioeconomía, Historia Económica...

FUNDACIÓN RAMÓN ARECES

Compartimos el conocimiento

Vitruvio, 5
28006 Madrid
España

www.fundacionareces.es
www.fundacionareces.tv

