



con CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/web/conCIENCIASnumero9.do>

Nº 9 MAYO 2012

NUEVOS TIEMPOS, RETOS DESCONOCIDOS



Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Jesús Anzano Lacarte
- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Julio Bernués Pardo
- José Ignacio Canudo Sanagustín
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- M^a José Gimeno Serrano
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

Edita

Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.
Plaza San Francisco, s/n
50009 Zaragoza

e-mail: web.ciencias@unizar.es

IMPRESIÓN: Gráficas LEMA, Zaragoza.

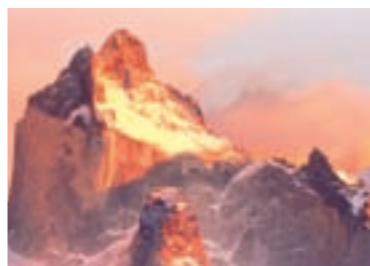
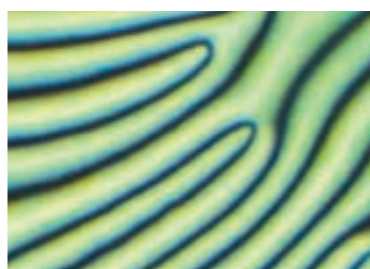
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: montaje a partir de fotografías presentadas al Premio San Alberto Magno
(Ana Serrano - *Sensaciones LED*; Carlo D'Alessio - *Foto Grafía*; María Egido - *Sulphates*).

La revista no comparte necesariamente las opiniones de los artículos firmados y entrevistas.



<u>Editorial</u>	2
<u>Tras las huellas de los dinosaurios</u> José Ignacio Canudo	4
<u>Larga vida a la superconductividad</u> Agustín Camón, Juan José Mazo y David Zueco	16
<u>Marte en lontananza</u> Marina Díaz-Michelena	26
<u>Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no?</u> Fernando Gomollón	38
<u>Marie Curie: Ciencia y Humanidad</u> Pascual Román	48
<u>Iberia cartesiana</u> Luis Joaquín Boya	62
<u>Tiempos nuevos</u> Ana Isabel Elduque	72
<u>Homenajes a la Ciencia en Zaragoza</u> José María Sorando	84
<u>Noticias y actividades</u>	106

Nuevos tiempos, retos desconocidos

Estimados lectores. Nos volvemos a reencontrar en un nuevo número. Afortunadamente, seguimos encontrando espíritu de colaboración para que esta pequeña empresa que comenzamos hace ya cuatro años pueda proseguir, para que pueda continuar en su andadura. Incierta y sin mayor rumbo que la que nuestros colaboradores, escritores y patrocinadores, y vosotros mismos, los lectores, queráis concederle.

La Ciencia, y en este número hay varios ejemplos de ello, es un camino, no una trayectoria. No fija objetivos ni destinos inmodificables. Como todo camino, máxime cuando debe ser transitado por otros, exige que sea marcado para ser reconocido. Desde que nuestra publicación comenzó su andadura se han celebrado importantes efemérides científicas que nos han permitido disponer de un hilo conduc-

tor en cada número. Juntos hemos celebrado los años de la Astronomía, de Darwin, de la Química. Poco antes de nuestro nacimiento se había celebrado el aniversario de la Teoría de la Relatividad de Einstein. Y este año celebraremos el 50 aniversario de la inauguración del Edificio de nuestra Facultad, que representó mucho más que su traslado al Campus San Francisco.

Estas celebraciones, estas efemérides nos recuerdan lo realizado. Y, como en el caso de Marie Curie y de la superconductividad, nos deben hacer reflexionar sobre la importancia capital que los descubrimientos de hoy pueden tener en el futuro. Debemos analizar el pasado, determinar los retos a los que nos enfrentamos, buscar las colaboraciones necesarias y así, solo así, podremos salir airoso de los retos. Una organización territorial rígida, un entorno geopolítico altamente indetermi-

“Ojalá todas las infraestructuras construidas en España en los últimos tiempos puedan ser tan protagonistas del futuro como el viejo edificio de Ciencias lo ha sido para la Universidad de Zaragoza.”

nado y cambiante, la colisión de intereses o las dificultades tecnológicas no pueden ser excusas para que no pretendamos superar los inconvenientes. Si ello fuera así, nunca conseguiríamos seguir descubriendo fósiles o soñar con visitar planetas lejanos. No es labor de la Ciencia el rendirse ante los obstáculos y dejar que las teorías sean propuestas en base a ejercicios de imaginación.

Como ya he dicho, este año se conmemora el 50 aniversario de la inauguración de nuestra Facultad. No fue solo un acto inaugural. Supuso el inicio de la andadura en solitario. Separábamos totalmente nuestro camino de la que había sido nuestra hermana durante más de medio siglo, la Facultad de Medicina. Ambas ya teníamos entidad propia y suficiente. En España, además, ya se estaba produciendo un despegue económico, tímido y todavía muy tutelado, que permitía que la Ciencia se extendiera por todo el territorio. La disponibilidad de las nuevas instalaciones supuso nuevas oportunidades. Y muchos de nuestros maestros y profesores las aprovecharon. Hoy en día somos tributarios de aquellos que convirtieron una mudanza en todo un proyecto. Ojalá todas las infraestructuras construidas en España en los últimos tiempos puedan ser tan protagonistas del futuro como el viejo edificio de Ciencias lo ha sido para la Universidad de Zaragoza.

Pero como ya he dicho, la Ciencia no debe marcarse objetivos finalistas. La investigación científica aceleró su desarrollo cuando se desprendió del carácter teleológico del saber medieval. Y las efemérides no deben ser los nuevos objetivos. Inaugurar algo solo tiene sentido si se entiende como la apertura de una puerta hacia un nuevo camino. Las celebraciones solo son pequeños momentos de descanso y de reunión entre cole-

gas. Nada más. El estudio de las biografías de nuestros antecesores es de interés para saber cómo y en qué debieron superar los límites en los que estaban circunscritos en su momento y lugar. Y, por comparación, ver qué nos limita a nosotros.

Celebremos, pues, este aniversario como una transición hacia otro nuevo tiempo. No deberían hacer falta cintas que cortar para que cada uno de nosotros lo tomemos como el inicio de otros cincuenta años tan fructíferos, al menos, como los que este año podemos celebrar.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



TRAS LAS HUELLAS DE LOS DINOSAURIOS

“La continuidad de las masas continentales permitía la dispersión de los dinosaurios por todas las áreas emergidas.”

POR JOSÉ IGNACIO CANUDO

Tras las huellas de los dinosaurios

¿QUÉ HACE UN PALEONTÓLOGO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS POR LA PATAGONIA?

En enero comienza una rutina que llevo desarrollando desde el 2004. Se trata de la preparación de la campaña anual de prospecciones y excavaciones paleontológicas en la Patagonia. El grupo de investigación Aragosaurus-LUCA, en colaboración con varias instituciones argentinas, viene desarrollando trabajos de prospección y excavación paleontológica en el norte de Patagonia. El objetivo es descubrir y estudiar nuevos yacimientos de vertebrados fósiles, especialmente de dinosaurios, en el contexto de un ambicioso proyecto que luego contaré.

La imagen del investigador, con una bata en un laboratorio, es un arquetipo que no sirve para los paleontólogos que desarrollamos trabajo de campo en el desierto patagónico. Los fósiles se encuentran en los estratos y, para obtener la información que encierran, es necesario adquirir los datos en el campo. El norte de la Patagonia (provincias de Neuquén y Río Negro) es una tierra dura, despoblada y desértica, pero tiene una ventaja para el geólogo, los estratos están bien expuestos y se puede estudiar bien la litología y encontrar con facilidad los fósiles que contienen.

En este punto, más de uno de los que me están leyendo se harán la pregunta ¿Qué hace un investigador de la Facultad de Ciencias buscando dinosaurios en Argentina? La respuesta hay que encontrarla en la misma esencia de nuestro trabajo. Los investigadores nos planteamos hipótesis de trabajo y buscamos los datos que nos permitan corroborarlas o descartarlas. Nuestra hipótesis de punto de partida es que íbamos a encontrar dinosaurios patagoneses emparentados filogenéticamente con los ibéricos. Jugábamos con ventaja, conocemos que Suramérica y África estaban unidas durante la mayor parte del Mesozoico y, durante algunos

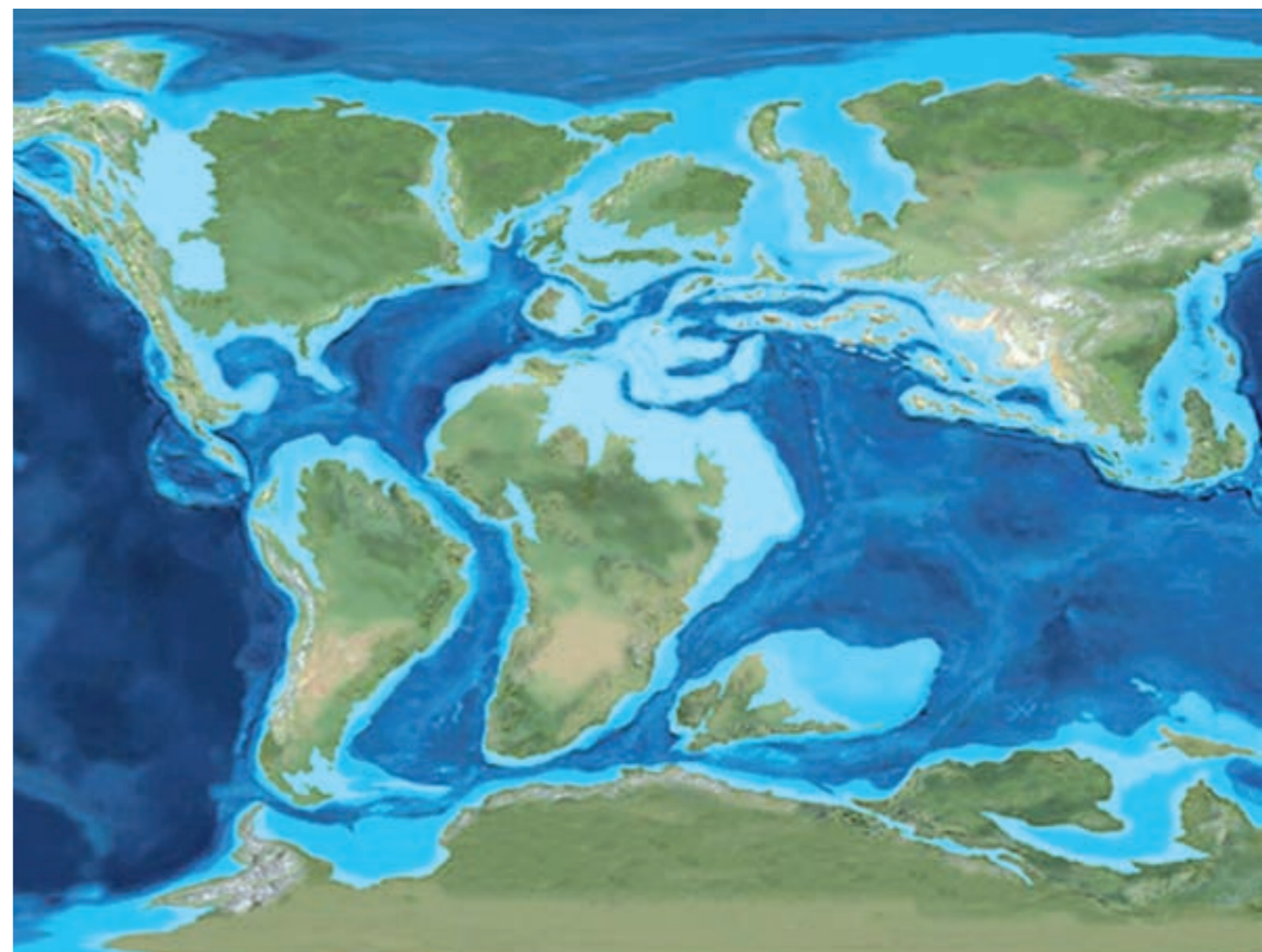
periodos, también África con Europa (Canudo *et al.*, 2009). Esta continuidad de las masas continentales permitía la dispersión de los dinosaurios por todas las áreas emergidas, de manera que se pueden encontrar los mismos dinosaurios en áreas hoy en día separadas por mares. El Atlántico Sur fue abriéndose durante el Cretácico separando África y Suramérica. Una de las consecuencias es la diferenciación de sus faunas de vertebrados continentales de manera definitiva. Este proceso lo conocemos, pero nos falta información del momento exacto de la separación de estos dos continentes. Dicho de otra manera, queremos saber cuándo los vertebrados africanos se separaron de los sudamericanos, y por extensión de los europeos. A partir de la abertura definitiva del Atlántico sur, la evolución de los vertebrados continentales fue por diferentes caminos en las dos masas terrestres en un proceso que se conoce vicarianza.

El interés social por los dinosaurios se traduce en una saturación de sus noticias en los medios de comunicación. Cualquier descubrimiento, por poco significativo que parezca, tiene una enorme difusión, dando una falsa impresión de abundancia de estos fósiles. Nada más lejano a la realidad. Para buscar nuevos datos, en este caso nuevos dinosaurios, necesitamos prospeccionar enormes extensiones de terreno para buscar la mínima evidencia. Los fósiles de vertebrados son escasos en el Cretácico de la Patagonia y es necesario cientos de horas de trabajo de campo para poder encontrar niveles fósiles con información. Investigar en el desierto de la Patagonia es duro, yacimientos pobres, falta de agua, de infraestructuras humanas y algún que otro puma. La ventaja es poder prospeccionar zonas que antes no han sido objeto de proyectos científicos. Pero esto lo contaré en otra ocasión; en esta publicación me quiero centrar en un dinosaurio que fue encontrado por el buen trabajo patrimonial de colaboración entre los paleontólogos y una empresa petrolífera y no como resultado de nuestra prospección.

EL DINOSAURIO QUE VINO DE UN POZO PETROLÍFERO

Rincón de los Sauces es una localidad del norte de la provincia de Neuquén, conocida en Argentina por sus yacimientos de petróleo. A finales de la década de los 60 se dio a conocer el descubrimiento de una gran cantidad de petróleo en la zona de Puesto Hernández. Hasta entonces, esa parte de la Patagonia carecía de núcleos urbanos, la escasa población vivía en casas aisladas llamadas Puestos. Suelen ser construcciones humildes donde se aloja el dueño de las tierras que los

“En esta publicación me quiero centrar en un dinosaurio que fue encontrado por el buen trabajo patrimonial de colaboración entre los paleontólogos y una empresa petrolífera.”



Reconstrucción paleobiogeográfica del final del Cretácico Inferior y comienzo del Cretácico Superior. De Ron Blakey, *Global Paleogeography* (<http://www2.nau.edu/rcb7/globaltext2.html>).

Tras las huellas de los dinosaurios



El Anfiteatro. Una amplia zona del Cretácico Superior de la Provincia de Río Negro donde afloran de manera espectacular los sedimentos con restos de dinosaurios. Esta zona fue la primera en que comenzaron nuestras investigaciones en la Patagonia.

rodea. Rincón de los Sauces nació en 1971 cerca de Puesto Hernández, creciendo con rapidez de manera pareja al aumento de la actividad petrolera. Esta localidad, situada a más de 100 km del núcleo habitado más cercano, se trata de un lugar singular, más cercano al lejano oeste que a cualquier otra localidad argentina.

Las formaciones geológicas que afloran en el entorno de Rincón de los Sauces se depositaron en medios continentales del Cretácico, dicho de otra manera, son formaciones potencialmente adecuadas para tener restos de dinosaurios. Por esto, la mayor presencia humana en la zona de Rincón trajo la consecuencia de abundantes y espectaculares descubrimientos de dinosaurios. El ayuntamiento de Rincón impulsó el Museo Municipal "Argentino Urquiza" para guardar estos fósiles y, además, promover la divulgación del incipiente patrimonio que empezaba a conocerse. Esta labor de concienciación fue calando de manera

que, a comienzos de los 2000, era habitual que paleontólogos del Museo de Rincón hicieran el control de los desmontes de las empresas petroleras.

La posición donde se sitúan los pozos petrolíferos es el resultado de complicados estudios del subsuelo hechos con simulaciones por ordenador. Por esa razón, cuando se decide situar un pozo en un punto, si hay un relieve, simplemente se desmonta con maquinaria pesada pero no se cambia la ubicación de la perforación. La historia del descubrimiento de *Petrobrasaurus* comenzó en Septiembre del 2004, cuando se iniciaron las obras de desmonte de una colina para colocar el equipo de bombeo del pozo PH-1597, por parte de la empresa brasileña Petrobras. Esta compañía tenía un convenio con el Museo de Rincón de manera que un equipo de paleontólogos seguía, a pie de excavadora, los desmontes de terreno. Gracias a este seguimiento, se localizaron las primeras vértebras de nuestro dinosaurio. Se

encontraron en unas arcillas rojas depositadas en las orillas de un antiguo río del Santoniense, de hace unos 85 millones de años (Cretácico Superior). Algunos de los huesos quedaron destruidos por una gran topadora pero, en el momento que se constató el descubrimiento, se pararon las obras de desmonte. En este punto, el papel de la empresa fue de un gran compromiso al trasladar la posición del pozo petrolífero unos 30 metros, de manera que quedara el yacimiento con los fósiles sin alterar. ¡Qué envidia y cuánto tendrían que aprender las empresas que explotan el carbón en Teruel! Cuántos huesos de dinosaurios aragoneses terminan en las escombreras o en la central térmica... pero esto es otra historia.

En este punto es cuando entramos los miembros de nuestro equipo. Desde el año 2004 estábamos desarrollando trabajos de prospección en la provincia de Río Negro en colaboración

con el profesor Leonardo Salgado, entonces en la Universidad de Comahue. En las primeras campañas, los resultados fueron bastante pobres, con el descubrimiento de material fósil fragmentario y mal conservado. La posibilidad de investigar sobre un ejemplar relativamente completo hizo que nos trasladáramos a la zona de Rincón de los Sauces.

La excavación se realizó a lo largo del 2006. Las expectativas iniciales se cumplieron al encontrarse docenas de huesos, relativamente bien conservados, de un único ejemplar de un dinosaurio saurópodo desarticulado y distribuidos en una amplia zona. Se recuperaron dientes, vértebras cervicales, dorsales y caudales, parte de la cadera y de los miembros delanteros y trasero. Sin duda, lo más espectacular fueron los dos fémures completos, que aparecieron casi juntos. Este hueso largo es especialmente interesante porque permite hacer una estima-



Una de las populares "cigüeñas" que extraen el petróleo en la zona de Puesto Hernández. Se trata de bombas para extraer el petróleo que se instalaban hasta hace unos años. Hoy en día siguen activas, pero las modernas son pequeñas y apenas se ven en el paisaje.

Tras las huellas de los dinosaurios

ción del tamaño de los saurópodos. El fémur de este dinosaurio tiene 1,60 metros, lo que implica unos 20 metros de longitud. Hay una relación aproximada entre el tamaño de este hueso largo y la longitud de los saurópodos. Sin duda, un carácter que llama la atención es que los dientes son demasiado pequeños y finos para un animal de este tamaño. Es una línea sugerente de trabajo que están desarrollando algunos de nuestros colegas ¿cómo colosos como este saurópodo podían tener dientes pequeños y delicados?

Además de los huesos del saurópodo, encontramos dientes aislados de dinosaurios terópodos carnívoros (Canudo *et al.*, 2009). Son dientes fáciles de identificar al estar aplastados y tener sus bordes con dentículos como los de nuestros cuchillos. Se trata de una adaptación eficaz para desgarrar y romper las fibras de carne. La asociación de dientes de terópodos con carcasas de dinosaurios herbívoros es habitual

en el Mesozoico. La explicación es que algunos dientes se rompieran cuando los terópodos se alimentaban de la presa o de la carroña. Como los tiburones, los dinosaurios tenían un proceso continuo de reemplazamiento dental durante toda su vida. Cada diente que se rompía o se caía por desgaste era reemplazado por uno nuevo. Nada que ver con los mamíferos que solo podemos hacer un reemplazamiento dental a lo largo de nuestra vida.

LLEGA PETROBRASAURUS

La investigación del dinosaurio de Puesto Hernández fue liderada por nuestro colega Leonardo Filippi, director del Museo de Rincón de los Sauces. En sus instalaciones se prepararon los fósiles, limpiando el sedimento que los rodeaba y consolidando para poderlos manipular. Los huesos fósiles de dinosaurio son grandes, pero son muy frágiles, siendo necesario el uso de productos para endurecer la parte

El autor del artículo en plena faena de excavación del fémur de *Petrobrasaurus*. El casco era necesario por estar en un área de explotación petrolífera, aunque estuviéramos al aire libre.



externa del fósil. Una vez que los huesos estaban preparados, y podía observarse los caracteres morfológicos, comenzó su estudio sistemático. La investigación en dinosaurios está en sus primeras etapas, aún estamos catalogando las especies que vivieron en la Tierra, y queda trabajo para muchas generaciones. Por tanto, lo primero que hacemos en este tipo de investigación es clasificar al dinosaurio, vemos si es una especie conocida o está sin describir.

En muchas ocasiones me han preguntado ¿cómo ponemos los nombres a los fósiles? Se aplica el mismo rigor que en otras disciplinas científicas, es decir, es necesario publicar el nombre en un artículo de una revista científica. La publicación debe constar de una descripción minuciosa de los fósiles y una comparación con los dinosaurios cercanos temporal y filogenéticamente. Este estudio debe demostrar que se trata de un dinosaurio que no había sido descrito anteriormente en otras partes del mundo. La publicación debe ser revisada por dos o más especialistas en el tema, de manera que validen que se trata de un nuevo taxón. Además, el fósil debe quedar depositado en un Museo, de manera que pueda haber un acceso a este material por parte de otros investigadores. El proceso es largo y riguroso, pero de esta manera se asegura la calidad y se evita el fraude. En el caso del dinosaurio de Puesto Hernández, la publicación se hizo en la revista *Geologica Acta* (Filippi *et al.*, 2011)

Los investigadores proponen el nombre con las mismas normas de nomenclatura zoológica de las especies actuales. Lo más habitual es dedi-

car los nombres de los taxones fósiles a lugares geográficos, investigadores o descubridores de los fósiles, pero no siempre es así. De hecho, al dinosaurio de Puesto Hernández le llamamos *Petrobrasaurus puestohernandezii*, dedicado a la Petrobras y a la localidad donde se encontró. Los nombres de las especies siempre son binomiales, el primero es el género y el segundo la especie. Un género puede tener varias especies, pero la especie es única. Es fácil de entender, nosotros pertenecemos a la especie *Homo sapiens*, pero hay otros miembros de nuestro género, como *Homo erectus* o *Homo habilis*. Por el momento solo hay una especie de *Petrobrasaurus*.

Ahora necesitamos ir al punto de partida. Por primera vez teníamos un ejemplar relativamente completo de un dinosaurio y, por tanto, podíamos hacer comparaciones con los dinosaurios ibéricos. En la Paleontología clásica, esta comparación se hace en términos relativos y comparando los huesos de manera individual, por ejemplo, viendo si la morfología entre el fémur de *Petrobrasaurus* es similar al de un dinosaurio ibérico. El método es bueno y, dependiendo de la experiencia del investigador, los resultados son excelentes. Lo que sucede es que con este método hay un cierto grado de subjetividad. Si a esto unimos la gran cantidad



Aspecto general de la excavación del saurópodo *Petrobrasaurus*. Se pueden ver los huesos desarticulados en un amplia zona y a los investigadores en "mono de trabajo".

Tras las huellas de los dinosaurios

de información que es necesario procesar, ha sido necesario el uso de aplicaciones estadísticas en los estudios cladísticos. Es la manera que tenemos de analizar el enorme volumen de datos, con el que trabajamos, de los huesos fósiles y compararla con ejemplares descritos en otras partes del mundo.

¿Cómo lo hacemos?. En esencia es fácil. Buscamos los caracteres morfológicos derivados (sinapomorfías), dando el valor 0 para la

estadio primitivo y 1 o más para los derivados. Un ejemplo gráfico podría ser dar valor sistemático a la presencia de cuernos en la cabeza de los dinosaurios: sin cuernos (0) con cuernos (1). De esta manera, se va generando una matriz de datos con cientos de caracteres de todos los taxones que queremos analizar. Si tuviéramos los ejemplares completos generaríamos una matriz fácil de procesar, pero hay muchos huecos en la matriz. En la mayoría de los fósiles de dinosaurios solo tenemos información



A) El fémur de *Petrobrasaurus* con la protección de escayola ("la momia") que permitió su extracción y traslado de manera segura al Museo de Rincón de los Sauces.

B) El uso de maquinaria pesada es bastante habitual en la investigación en dinosaurios, sobre todo en los ejemplares de gran tamaño. En la fotografía se puede ver el uso de una grúa de gran tonelaje para sacar los fósiles del yacimiento y ponerlos en un camión para su transporte.

C) Vista general de la reconstrucción del titanosaurio *Argentinosaurus* en el Museo de Plaza Huincul (Neuquén, Argentina). Se trata del mayor animal terrestre y pertenece al mismo grupo de titanosaurios que *Petrobrasaurus*.



de una parte de su esqueleto y, por supuesto, nada de sus partes blandas. Por ejemplo, en *Petrobrasaurus* no conocemos el cráneo. Una vez construida la gran matriz con sus interrogantes, se analiza con aplicaciones como TNT o Paup que agrupan los taxones según los caracteres derivados compartidos. Estas aplicaciones generan árboles filogenéticos, de manera que los taxones situados en las ramas más bajas en el árbol son menos derivados evolutivamente que los que ocupan ramas más altas. Además, los taxones más cercanos filogenéticamente se agrupan en nudos de la misma rama. Siguiendo con nuestro ejemplo, si analizamos tres dinosaurios con cuernos, están más cercanos filogenéticamente entre ellos que de los dinosaurios que carecen de ellos. Nuestro lector entenderá que esto es una simplificación, como lo es decir que un ordenador funciona por la combinación de ceros y unos, pero puede servir para entender cómo se hace el análisis. En Paleontología, la solución de la aplicación informática suele ser múltiple, es decir, no hay un único árbol, sino un número variable que todos ellos ofrecen una solución igualmente parsimoniosa. Matemáticas, Estadística, Paleontología se aúnan en buscar la solución más adecuada. Cuanta más información tenemos, de más dinosaurios, la matriz tiene menos interrogantes y nuestro estudio filogenético se acerca más a la realidad. Pero ya adelante que en dinosaurios estamos muy lejos de poder proponer árboles definitivos.

¿LA CONEXIÓN IBERO-PATAGÓNICA?

El estudio cladístico de *Petrobrasaurus* nos permitió agruparlo con un grupo de saurópodos derivados, llamados titanosaurios. Son un grupo de dinosaurios comedores de plantas que dominaron los ecosistemas continentales del final del Cretácico. También los hemos encontrado en la Península Ibérica (inclu-

yendo Aragón) y en toda Europa ¿Esto significa que hace 85 millones de años continuaba la conexión terrestre entre Iberia y Patagonia? El origen de los titanosaurios hay que buscarlo hace más de 140 millones de años, cuando los continentes estaban unidos y los dinosaurios podían moverse libremente entre África y Suramérica. Por tanto, carecemos de respuesta segura a la pregunta. Los titanosaurios evolucionaron de manera vicariante y separada una vez que los dos continentes se separaron. En este punto necesitábamos precisar más. Si *Petrobrasaurus* pertenece a un grupo de titanosaurios endémico y exclusivo de Suramérica o, por el contrario, es de un grupo con representantes en África y Europa.

Para dar respuesta a esta cuestión era necesario precisar más las relaciones filogenéticas de *Petrobrasaurus*. En nuestro estudio cladístico se agrupaba con un grupo de saurópodos gigantes y exclusivos de Suramérica llamados Lognkosauria. Entre ellos se incluye al mayor animal terrestre conocido, el gigantesco *Argentinosaurus*. Los representantes de Lognkosauria nunca se han encontrado

en África, y por supuesto tampoco en Iberia. Por tanto, *Petrobrasaurus* es un pariente lejano de titanosaurios africanos, siendo una prueba más de que África y Suramérica estuvieron unidas hasta el comienzo del Cretácico Superior, pero no es una prueba de que la conexión continuara en el Santoniense. La separación de los dos continentes produjo la diferenciación cada vez mayor de los saurópodos que vivían en ambos continentes. La conclusión era clara, hace 85 millones de años el océano Atlántico Sur estaba bien formado y no había conexión terrestre entre África y Suramérica. La conexión ibero-patagónica de los dinosaurios había que buscarla en formaciones geológicas más antiguas.

Primer intento fallido, pero el estudio de *Petrobrasaurus* nos había dado una valiosa información que nos permitió encontrar la conexión en campañas posteriores. Pero eso lo contaremos en otra ocasión.

José Ignacio Canudo
jjcanudo@unizar.es

Grupo Aragosaurus-IUCA
www.aragosaurus.com

Dpto. de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS:

Canudo J. I., Barco J. L., Pereda-Suberbiola X., Ruiz-Omeñaca J. I., Salgado, L., Torcida Fernández-Baldor F., Gasulla J. M. 2009. *What Iberian dinosaurs reveal about the bridge said to exist between Gondwana and Laurasia in the Early Cretaceous*. Bulletin de la Société Géologique de France 180(1), 5-11.

Canudo J. I., Filippi, L., Salgado, L., Garrido, A., Cerda, I., García, R., Otero, A. 2009. *Dientes de terópodos asociados con una carcasa de un saurópodo en el Cretácico Superior (Formación Plottier) de Rincón de los Sauces (Patagonia, Argentina)*. Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno, 321-330.

Filippi L., Canudo J. I., Salgado L., Garrido A., García R., Cerda I., Otero, A. 2011. *A new sauropod from the Plottier Formation of Patagonia (Argentina)*. Geologica Acta 9(1), 1-12.



**LARGA VIDA A LA
SUPERCONDUCTIVIDAD**

**POR AGUSTÍN CAMÓN,
JUAN JOSÉ MAZO Y DAVID ZUECO**

Larga vida a la superconductividad

En 2011 hemos celebrado el centenario del descubrimiento de la superconductividad. Se han organizado numerosos actos conmemorativos, exposiciones, charlas y se han publicado cientos de artículos históricos. Pero, ¿qué nos deparará la superconductividad en los próximos años?

La historia de la superconductividad está llena de sorpresas y lo que nadie duda es que seguirá dándonos. Para empezar, su descubrimiento por Onnes en la primavera de 1911. El objetivo fundamental de Kamerling Onnes era licuar el Helio. Una vez que lo hubo logrado se dedicó a estudiar las propiedades de los materiales a bajas temperaturas. Eligió el mercurio por ser fácil de purificar y lo que encontró, al medir su resistencia eléctrica en función de la temperatura,

no fue lo esperado. Ni se hacía infinita como pensaba Lord Kelvin, ni constante como decía Matthiessen, ni tendía a cero al hacerlo la temperatura, como postulaba Dewar. Lo que Kamerling Onnes descubrió fue que la resistencia eléctrica del mercurio se hacía cero a 4.2 K. Inesperado y sorprendente.

Hasta 1957 no hubo una teoría microscópica de la superconductividad. La teoría BCS nos enseñó que en un superconductor la corriente se transporta mediante los llamados pares de Cooper, parejas de electrones que se mantienen ligados gracias a su interacción con las vibraciones de la red cristalina. Esta teoría explicaba todos los superconductores que se conocían hasta la fecha y predecía una temperatura crítica (T_c) máxima entorno a 30 K. Pero en 1986, Müller y Bednorz descubrieron un nue-

“Lo que Kamerling Onnes descubrió es que la resistencia eléctrica del mercurio se hacía cero a 4.2 K. Inesperado y sorprendente.”

vo tipo de superconductores basados en materiales cerámicos con una T_c de 35 K que pronto se incrementaría hasta los 93 K. La sorpresa fue que, en estos materiales, no podían ser las vibraciones de la red las que mantenían ligados a los electrones. Aun hoy en día, no se sabe cuál es el mecanismo que los mantiene unidos. La superconductividad de alta temperatura sigue desafiando a la física teórica 25 años después.

Pero la superconductividad ha seguido deparando sorpresas. En 2001, Jun Akimitsu descubrió que el MgB_2 se volvía superconductor a 39 K. Y esto era sorprendente por dos motivos. En primer lugar, porque era un material que llevaba muchos años en las estanterías de los laboratorios, sin que nadie hubiera imaginado que podía ser superconductor. En segundo lugar, porque a pesar de su T_c tan alta, por encima de la que pronosticaba la teoría BCS, en este material los electrones sí que están ligados por las vibraciones de la red. Podríamos decir que es un superconductor “clásico” pero con una T_c sorprendentemente alta. Al contrario de lo que ocurrió con los superconductores cerámicos, todos los intentos para aumentar la T_c del MgB_2 han resultado ser infructuosos.

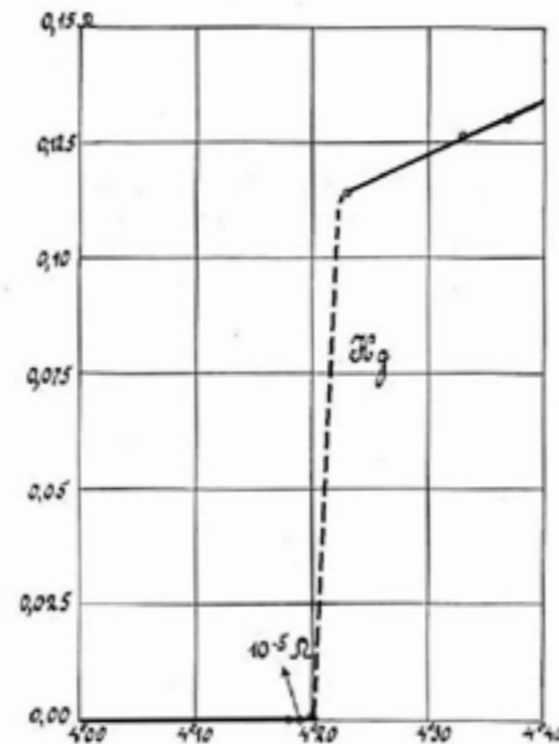
La última sorpresa tuvo lugar en 2006, cuando Ideo Hosono, del Instituto de Tecnología de Tokio, buscando un semiconductor transparente para hacer pantallas planas, descubrió una segunda familia de superconductores de alta temperatura basados en el hierro. Lo sorprendente es que el hierro es magnético y el magnetismo suele inhibir la superconductividad. El enigma sigue sin resolverse. En la actualidad se han conseguido superconductores de esta fa-

milia con una T_c de hasta 56 K y sus propiedades mecánicas hacen de ellos posibles candidatos para su futura aplicación tecnológica.

Además de las numerosas incógnitas que existen entorno al fenómeno de la superconductividad, actualmente aún no tenemos una teoría que nos permita predecir cuándo un nuevo material va a ser superconductor ni cuál será la máxima T_c que podremos alcanzar. El record actual está en un compuesto cerámico con mercurio que, bajo una presión de 23 GPa, alcanza una T_c de 166 K, pero...¿seremos capaces de encontrar superconductores a temperatura ambiente? Hay quien opina que no tendrían aplicaciones prácticas al no ser capaces de transportar altas densidades de corriente. Lo seguro es que la superconductividad nos va a seguir deparando sorpresas, a pesar de los intentos de hacer cada vez más predecibles y menos fortuitos los descubrimientos.

EFECTO MEISSNER

La resistencia cero no es la única propiedad fascinante de los superconductores. En 1933, Walter Meissner y Robert Ochsenfeld observaron que un campo magnético en el interior de un material superconductor era expulsado completamente, una vez que éste se enfriaba por debajo de T_c , comportándose como un material diamagnético perfecto. Es lo que se llamó efecto Meissner, y es una de las propiedades que definen la superconductividad. Pronto se vio que la respuesta de los superconductores a los campos magnéticos iba a suponer una limitación a la hora de las aplicaciones: pequeños campos magnéticos destruían la superconductividad. Pero en la misma década, Lev Shubnikov descubrió que en ciertas aleaciones metálicas podía existir un estado intermedio, llamado de vórtices, donde el campo magnético penetra en ciertas regiones de la muestra, mientras que el resto de la muestra continúa siendo superconductora



Kamerlingh Onnes y su ayudante Gerrit Flim frente al licuador de helio en el laboratorio de bajas temperaturas de Leiden (Holanda) y gráfica original de Onnes mostrando la transición superconductora del mercurio a 4.2 K.

Larga vida a la superconductividad

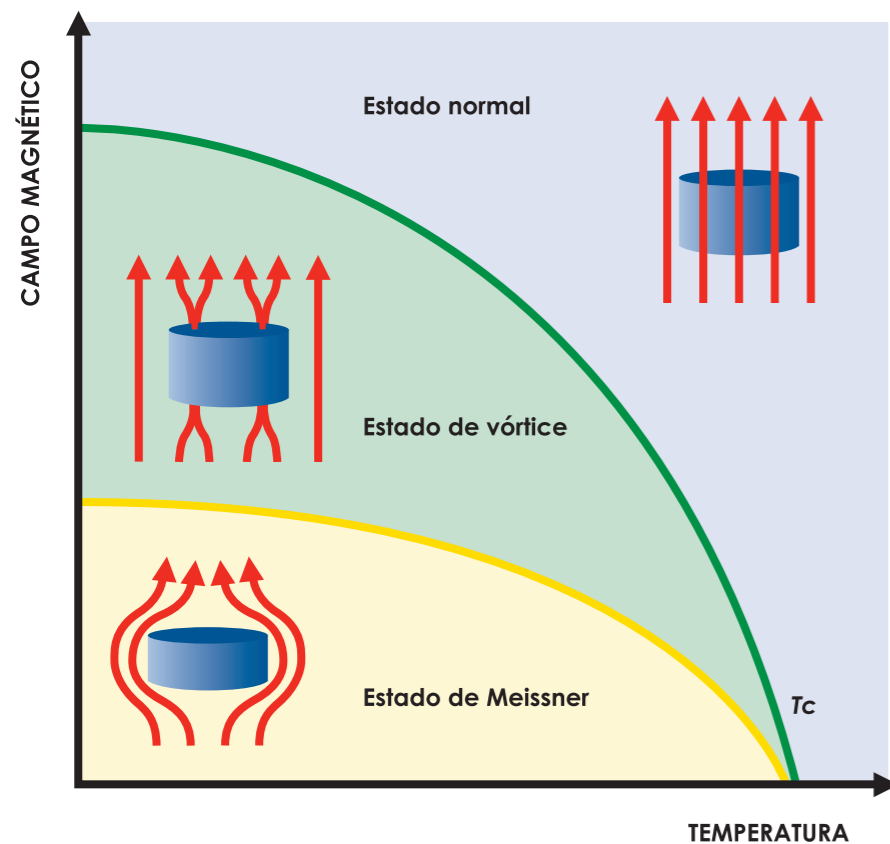
hasta campos magnéticos mucho más intensos. Son los llamados superconductores Tipo II, que han abierto la puerta de las aplicaciones.

EFFECTO JOSEPHSON

No solo de resistencia cero y efecto Meissner vive la superconductividad. En 1962, el joven galés Brian Josephson contaba 22 años y era un brillante estudiante de doctorado de la Universidad de Cambridge. Posiblemente inspirado por las clases de Philip Anderson (premio Nobel de Física en 1977), se propuso estudiar el paso de corriente entre dos superconductores separados por una fina barrera de aislante. Sus cálculos predijeron que dicha corriente era suficientemente grande para ser observada con facilidad, y que mostraba unas propiedades sorprendentes: corriente continua con voltaje cero, pero corriente alterna bajo la aplicación de un pequeño voltaje constante. La predicción de Josephson pronto fue confirmada ex-

perimentalmente en 1963 y reconocida como un avance fundamental con grandes aplicaciones tecnológicas. Su trabajo mereció el premio Nobel de Física de 1973.

El efecto Josephson nos proporciona el método habitual de medir el cociente e/h , donde e es la carga del electrón y h la constante de Planck, dos de las constantes fundamentales de la física. Esa propiedad, conjugada con la posibilidad de medir tiempo con gran precisión, es la base del actual estándar de voltaje. En el voltio patrón miles de uniones Josephson, dispuestas en serie, evolucionan de modo sincronizado bajo la acción de una corriente externa. Y es que, según la teoría de Josephson, cada unión es como un minúsculo péndulo y una red de uniones Josephson un conjunto de péndulos acoplados entre sí y, por lo tanto, es un sistema experimental ideal para probar y aprovechar las predicciones de la física no lineal (caos, localización, coherencia, sincronización...).



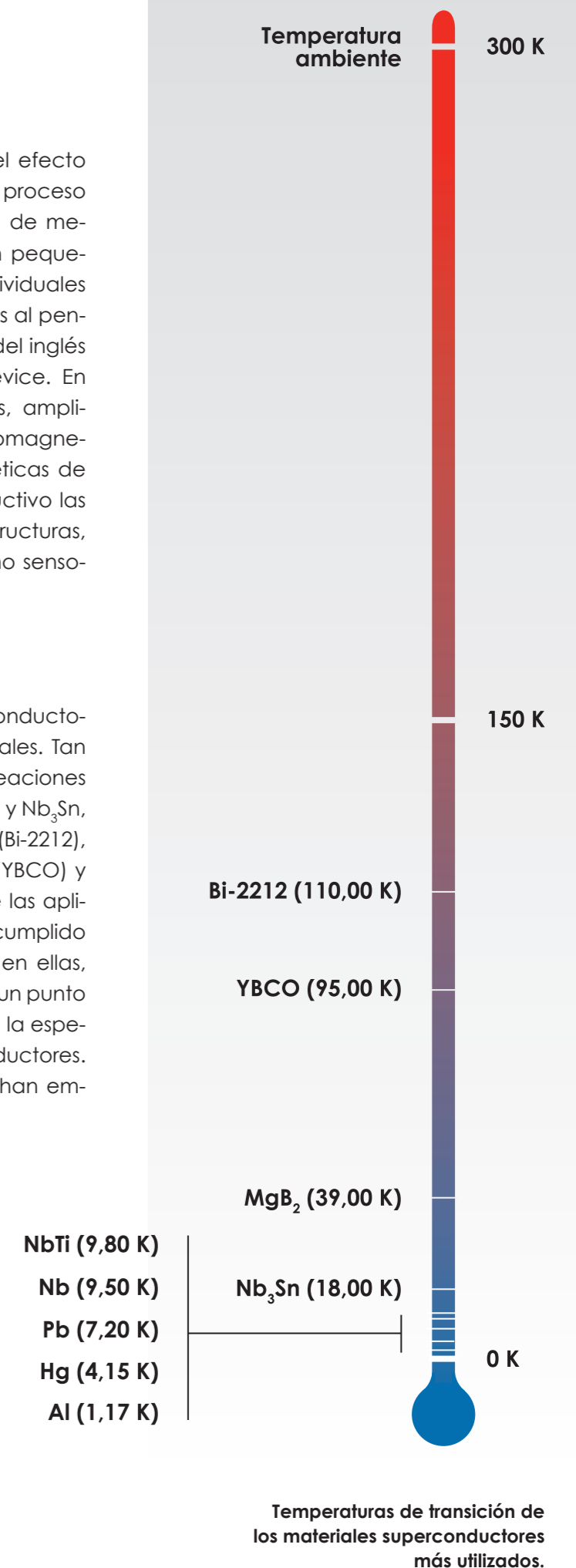
¿Qué ocurre cuando aplicamos un campo magnético a un superconductor? A altas temperaturas y campos magnéticos (región azul) este atraviesa el material y no hay estado superconductor. Cuando se enfría por debajo de la temperatura de transición, el campo es expulsado de su interior (efecto Meissner, región amarilla). Algunos superconductores, los llamados Tipo II, presentan un estado mixto llamado de vórtices (región verde) donde coexisten regiones resistivas con regiones superconductoras. El campo magnético puede penetrar en su interior pero está confinado en vórtices de flujo. El tipo II es el que tiene aplicaciones comerciales ya que presenta las corrientes y campos críticos más elevados.

La segunda de las grandes aplicaciones del efecto Josephson también tiene que ver con un proceso de medida. En particular, con la posibilidad de medir campos magnéticos muy pequeños. Tan pequeños como los generados por moléculas individuales o por las corrientes eléctricas que generamos al pensar. Para ello se utilizan los llamados SQUIDS, del inglés Superconducting Quantum Interference Device. En la actualidad son usados como voltímetros, amplificadores, para estudiar problemas de biomagnetismo, para evaluar las propiedades magnéticas de la materia, para analizar de modo no destructivo las propiedades mecánicas de materiales y estructuras, para realizar exploraciones geofísicas y como sensores de movimiento gravitacionales.

EL FUTURO DE LAS APLICACIONES

A pesar de que se conocen miles de superconductores, muy pocos tienen aplicaciones comerciales. Tan solo seis se utilizan para hacer cables: dos aleaciones metálicas de baja temperatura crítica, el NbTi y Nb₃Sn, tres compuestos cerámicos, el Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y} (Bi-2212), el Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+y} (Bi-2223) y el YBa₂Cu₃O_{7-y} (YBCO) y por último el MgB₂. Mucha gente piensa que las aplicaciones de la superconductividad no han cumplido las expectativas que se habían depositado en ellas, pero puede ser que actualmente estemos en un punto de inflexión, y que asistamos en pocos años a la esperada generalización del uso de los superconductores. Podemos decir que, hasta la fecha, solo se han empleado donde eran la única alternativa.

A la hora de analizar el presente y futuro de las aplicaciones podríamos hacer dos grupos. En un primer grupo podríamos colocar todas aquellas que son una realidad. Sin duda, la generación de altos campos magnéticos es la más importante. Por un lado, los imanes para resonancia magnética nuclear, tanto para imagen médica como para análisis, son en la actualidad el mayor mercado de los superconductores. Por otro lado, los aceleradores de partículas han visto crecer su energía gracias a los imanes superconductores. El máximo



Temperaturas de transición de los materiales superconductores más utilizados.

Larga vida a la superconductividad

exponente es el Large Hadron Collider (LHC), en el CERN, con casi 20 Km de imanes. En la actualidad se está construyendo el ITER, el futuro reactor de fusión por confinamiento magnético, que constará de 43 bobinas de hasta 13 Tesla. En Japón han empezado la construcción de un tren superconductor entre Tokyo y Nagoya que estará terminado en 2027. A pequeña escala los SQUID, el patrón de voltaje, los sensores de radiación y algunos dispositivos de microondas

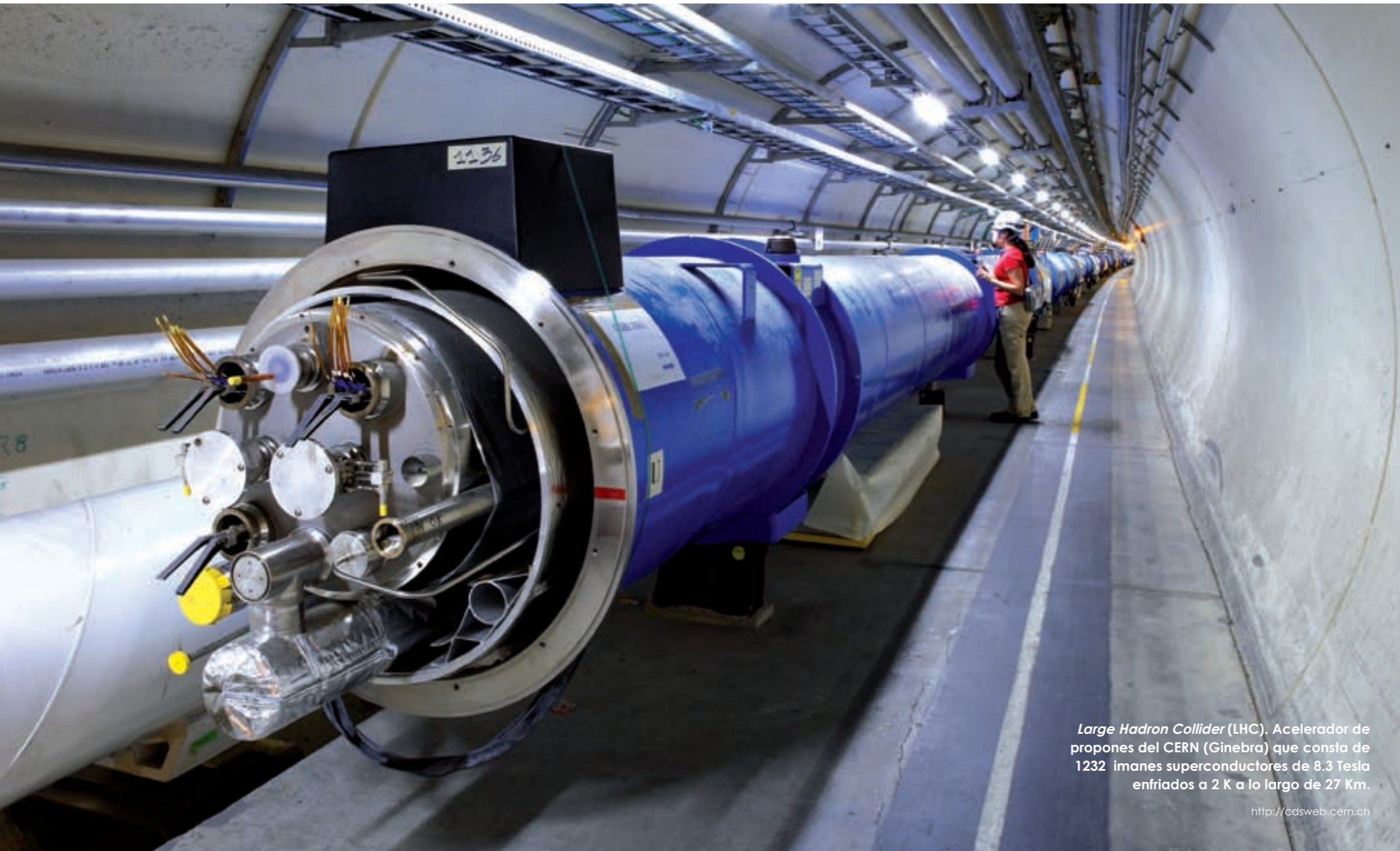
son también una realidad. En un segundo grupo estarían todas aquellas aplicaciones cuya viabilidad tecnológica está demostrada y que ya existen prototipos funcionando. Ejemplos a gran escala son los cables de alta potencia, transformadores, limitadores de corriente, generadores eléctricos, motores y almacenadores de energía. A pequeña escala tenemos los dispositivos de electrónica digital. Todas estas aplicaciones están esperando su oportunidad.

¿A LAS PUERTAS DE UNA NUEVA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA?

La humanidad avanza de la mano de revoluciones tecnológicas. Aprendimos a utilizar primero la piedra, después los metales, inventamos curiosos ingenios mecánicos, diseñamos motores térmicos, eléctricos, circuitos de semiconductores, llegó Internet... Hoy en día, en los laboratorios del mundo se cocinan las futuras revolucio-

nes: nanotecnología, biotecnología, metamateriales o computación cuántica son palabras que excitan nuestra imaginación. En la actualidad, es posible diseñar y manipular circuitos eléctricos hechos con superconductores que funcionan en el ámbito de la mecánica cuántica. Se trata de una nueva electrónica basada en la superconductividad y las bajas temperaturas. En dichos circuitos las ondas electromagnéticas, fotones, se propagan a través de líneas

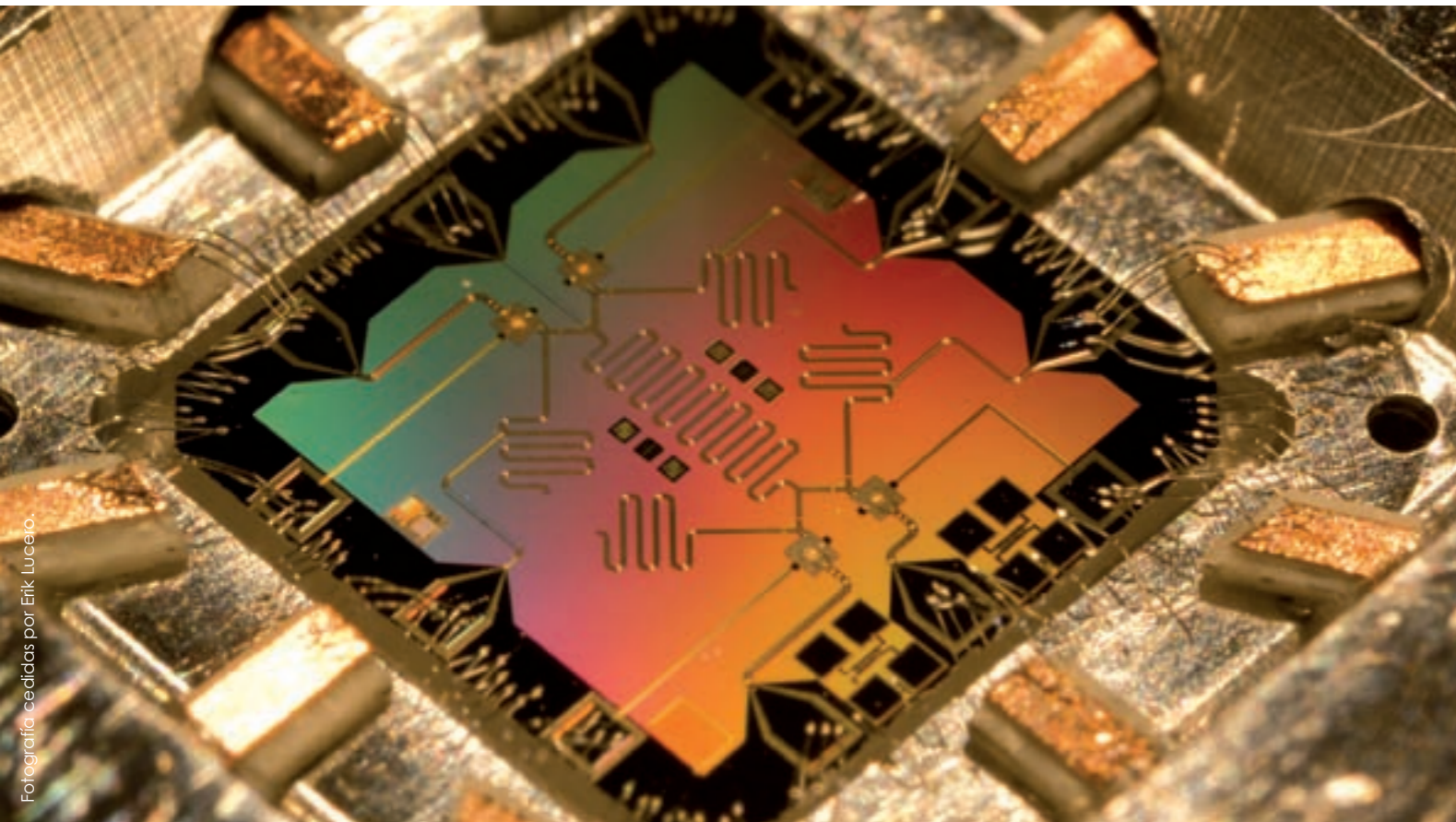
de transmisión superconductoras e interactúan con átomos artificiales y qubits realizados en base a uniones Josephson. El control experimental es fabuloso y es posible realizar experimentos que involucran un solo fotón y un átomo artificial integrados en un dispositivo de estado sólido. Algo asombroso si comparamos, por ejemplo, con el número de fotones utilizados en una transmisión inalámbrica, unos 10^{23} fotones por segundo. El principal impulsor de este espectacular desarrollo es la posibilidad de construir ordenadores cuánticos basados en circuitos superconductores. Una tarea por la que han apostado decididamente empresas como IBM (en este proyecto trabaja un ex alumno de nuestra facultad), Microsoft y Google. El día que dispongamos de ordenadores cuánticos podremos realizar en pocos minutos cálculos que, a día de hoy, son ina-



Large Hadron Collider (LHC). Acelerador de protones del CERN (Ginebra) que consta de 1232 imanes superconductores de 8.3 Tesla enfriados a 2 K a lo largo de 27 Km.

<http://cdsweb.cern.ch>

“Los aceleradores de partículas han visto crecer su energía gracias a los imanes superconductores. El máximo exponente es el *Large Hadron Collider (LHC)*, en el CERN, con casi 20 Km de imanes.”



Circuito cuántico para factorizar el número 15 (= 5 x 3). El material es Aluminio y está formado por líneas de transmisión (esas líneas curvadas) y cuatro qubits (la versión cuántica de los bits). El chip ha sido fabricado en la Universidad de California en Santa Barbara.

bordables con ordenadores clásicos y asistiremos, de la mano de la física computacional, a una revolución que afectará a todos los campos del conocimiento científico. Podemos pensar que estamos hablando de ciencia ficción, pero grupos de las universidades de Yale y California en Santa Bárbara han creado sus primeros prototipos, y una empresa canadiense D-wave ya vende ordenadores cuánticos con 128 qubits basados en dispositivos superconductores.

¿ QUÉ HACEMOS AQUÍ?

Los miembros del ICMA tenemos una amplia experiencia en el estudio y aplicación de los superconductores. A finales de los años 80 desarrollamos un patrón de voltaje basado en el efecto Josephson, que en la actualidad es el patrón nacional de voltaje. Posteriormente, en colaboración con empresas nacionales, fabricamos la primera bobina de alto campo (9 Tesla) y un com-

“Hoy en día en los laboratorios del mundo se cocinan las futuras revoluciones: nanotecnología, biotecnología, metamateriales o computación cuántica son palabras que excitan nuestra imaginación.”

parador criogénico de corriente para el patrón de resistencia basado en el efecto Hall cuántico. En la actualidad, estamos trabajando en detectores de radiación para futuras misiones espaciales y en nuevas aplicaciones de los SQUID. También hacemos nuestros propios conductores. Se han realizado barras de Bi-2212 orientadas por fusión zonal mediante láser, con las que se han diseñado y construido barras de alimentación. Mediante el método de polvo en tubo, se han fabricado hilos de Bi-2223 y de MgB_2 . En la actualidad, se está trabajando, junto con empresas nacionales, en un proyecto para desarrollar aerogeneradores basados en superconductores que, en un futuro, irán instalados en el mar. Por último, miembros del departamento de teoría y simulación participaron en la propuesta del qubit superconductor, que hoy utiliza la de D-wave, y es considerado como uno de los mejores candidatos a formar

parte de los ordenadores cuánticos del futuro. Además, en la actualidad realizamos estudios sobre acoplamiento luz-materia en líneas de transmisión y el diseño de circuitos cuánticos y metamateriales con superconductores.

Creemos que, por todo ello, podemos augurarle una larga vida a la superconductividad.

Agustín Camón, Juan José Mazo
y David Zueco

Instituto de Ciencias de Materiales de Aragón

Dpto. de Física de la Materia Condensada
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza



Sensor de rayos X para un telescopio de la Agencia Espacial Europea fabricado y diseñado en el ICMA.

Fotografía cedida por los autores.

MARTE EN LONTANANZA

“Enviar humanos a Marte no parece factible en los años venideros. Pero multitud de científicos y tecnólogos trabajan para que la aventura sea realizable en un futuro.”

POR MARINA DÍAZ-MICHELENA



Me atrevería a decir que, a la gran mayoría de la población, Marte, nuestro planeta más próximo, le importa un bledo.

En más de una reunión, cuando se ha suscitado el tema de su exploración, he observado con horror que había quien dudaba sobre si se había puesto ya un pie en su superficie al igual que en la Luna. En general se prefieren los programas basura a los documentales del espacio, y no digamos el interés que comparativamente despierta el fútbol.

Con frecuencia desconocemos la actualidad en el país vecino y tristemente creo que a la gran masa solo le importan las sondas espaciales que son susceptibles de precipitarse sobre sus cabezas.

Sin embargo, siempre ha habido un colectivo con miras más allá de los confines preestablecidos y que ha sido el responsable de ampliar el conocimiento más allá de las fronteras. Estos soñadores y aventureros son quienes han especulado sobre el Mundo Rojo, han escrito y hoy en día escriben su crónica. Son los responsables de que Marte hoy sea noticia.

¿Y en qué momento de nuestra historia se despierta el interés? La respuesta no es clara. En el sistema babilonio astral teológico se relaciona al dios de los muertos Nergal con el planeta rojo. Probablemente, los aspectos más terroríficos de este dios fueron heredados por el dios olímpico de la guerra, Ares. A su vez, la mitología romana recoge muchos de los atributos del dios de la guerra en el dios Marte que, al contrario que Ares, gozaba de cierta aceptación social. Desde entonces, queda definitivamente

bautizado, tan asimilado al dios de la guerra que sus dos satélites naturales se han llamado Fobos (odio) y Deimos (terror).

Poco se sabe de las observaciones en aquella época y a lo largo de buena parte de la Edad Media. De hecho, los primeros trabajos sistemáticos, anteriores a la invención del telescopio, fueron las observaciones del astrónomo danés Tycho Brahe desde 1560, aproximadamente.

Durante su estancia en Praga al servicio del emperador Rodolfo II, Tycho Brahe compartió tiempo de observación con Johannes Kepler. De manera que, cuando Brahe murió en 1601, su familia, que no parecía dar ningún valor a sus notas con más de una década de meticulosas observaciones, no tuvo ningún reparo en entregárselas a Kepler cuando éste se las solicitó. Sin duda alguna, estos apuntes ayudaron a Johannes a formular sus tres leyes y describir la órbita de Marte alrededor del Sol. (Obsérvese el papel tan importante que jugó de cara a la aceptación de la teoría heliocéntrica). Posteriormente, varios astrónomos llegan incluso a apreciar manchas oscuras en su superficie. Pero fue el descubrimiento por Christiannus Huygens (1659) de la mancha triangular *Horologium* (Reloj de Arena), la actual región Syrtis Major, sobre la superficie, lo que facilitó la medida del periodo de rotación, que se estimó de 24 horas y 40 minutos con un error de 3 minutos. El día marciano duraba lo mismo que nuestro día. Hoy sabemos que los periodos de rotación de ambos planetas solo se diferencian en 41 minutos.

En aquel momento, esta observación, lejos de desatar una afición desenfrenada por Marte, dejó a la humanidad indiferente durante más de un siglo hasta que, en 1783, William Herschel

midió la inclinación del eje de rotación y observó los casquetes polares llegando a extraer conclusiones sobre el parecido con los cambios estacionales de la Tierra. Se retomaba la afición.

Ya cerca del fin del siglo XVIII, la precisión de los telescopios propicia los primeros mapas topográficos (Johan Schröder ...) y la observación de los famosos canales (Angelo Sechi, Giovanni Schiaparelli) que darían rienda suelta a la imaginación, en el siglo XIX, alentados por la sugerencia, de que se tratara de canales artificiales, de Percival Lowell.

Con este final de siglo, no es de extrañar que, a principios del siglo XX, Marte protagonice una buena parte de la ciencia ficción, cada vez más realista gracias al goteo de los avances científicos sobre el planeta, como el cálculo de W. W. Coblentz de temperaturas extremas en algunos puntos del planeta y la identificación de dióxido de carbono en la atmósfera, por Gerard Peter Kuiper.

Pero, mientras la guerra fría de Hollywood asimila a los marcianos con monstruos y mujeres fatales, y Marte empieza a triunfar en la pantalla grande de la mano de la ciencia ficción, la verdadera exploración ya se está abriendo paso. Las dos potencias mundiales, la Unión

“Ya cerca del fin del siglo XVIII, la precisión de los telescopios propicia los primeros mapas topográficos y la observación de los famosos canales.”

Soviética y Estados Unidos, han comenzado la carrera por Marte. Los comienzos no fueron tan prometedores. Se perdieron varias sondas hasta que la Mariner 4 efectuó una maniobra de onda gravitatoria, el 14 de julio de 1965, pasando a 16.000 km de la superficie. Durante la pasada, la sonda pudo conseguir las primeras fotografías de la superficie tomadas “de cerca”.

Era tanta la expectación por ver los supuestos bosques, e incluso habitantes, que la espera de 3 días para recibir las 21 fotografías realizadas por la Mariner 4 fue todo un suplicio, pero en ningún caso comparable con la desilusión tras ver que las fotografías no mostraban vegetación alguna, y mucho menos evidencias de los famosos marcianos, sino continuos paisajes desérticos solo interrumpidos por la presencia de enormes cráteres de impacto (de hasta 300 km de diámetro). Ni vegetación, ni agua ni civilización.

A partir de este momento comienza la verdadera etapa de exploración. Una gran cantidad de sondas entre orbitadores, aterrizadores y rovers constituyen lo que se conoce como retrato de familia de la exploración a Marte. Y, aunque el ser humano aún no ha podido pisarlo, es un deseo indiscutible poblarlo o de momento soñar con ello. Conducida por esta ilusión, en este artículo me he permitido analizar su exploración como el camino a través de la pirámide de Maslow (1934), para establecer una base en su superficie.

La pirámide describe las jerarquías de las necesidades humanas. Como hablamos de un nuevo mundo, completamente distinto al propio, no es difícil imaginar una pirámide de Maslow que vaya sentando

Marte en lontananza

las bases de las necesidades, avanzando hacia una situación de seguridad, afiliación y reconocimiento para llegar a una sociedad madura que habite el planeta.

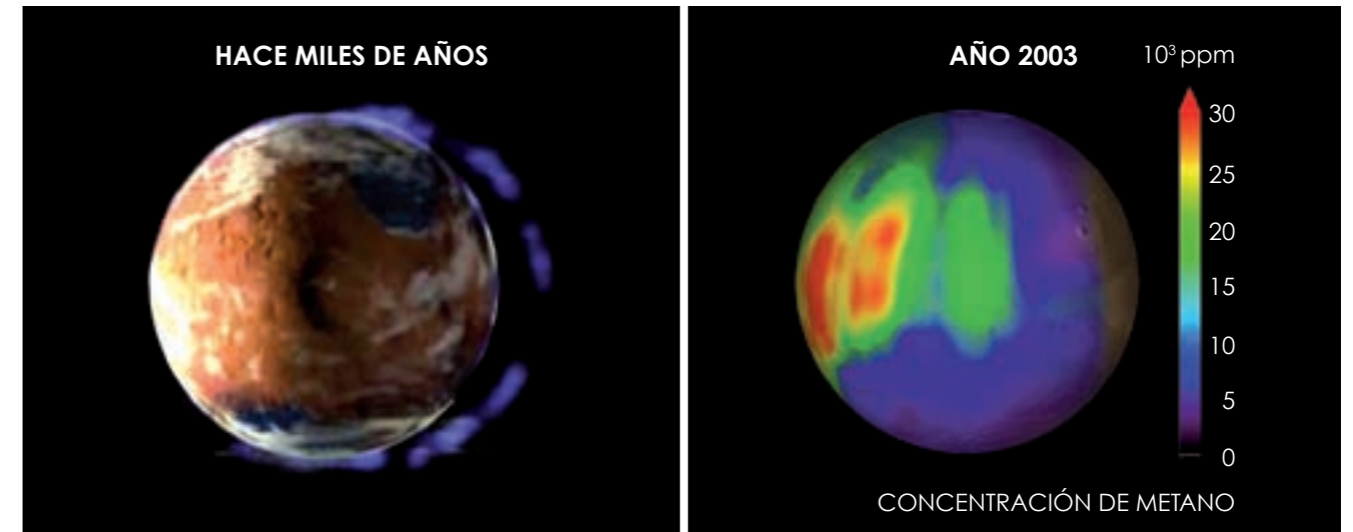
A continuación, se irán dando pinceladas de algunas de las metas de los distintos peldaños de la pirámide.

En la base de la pirámide se encuentran las necesidades fisiológicas. Los habitantes deben poder respirar, alimentarse, descansar ¡y practicar sexo!

Al contrario de lo que ocurre en nuestro planeta, de estas cuatro necesidades parece que lo más complejo es poder garantizar las dos primeras: respirar y alimentarse. Y la razón es la siguiente: es una teoría completamente aceptada que Marte, antiguamente, tuvo un campo magnético global, que lo protegía de la erosión cons-

tante producida por el viento solar. La intensidad del mismo debió ser muy parecida a la del campo geomagnético y, todo parece indicar, que también fuera producido por un efecto de dinamo en el núcleo del planeta. Sin embargo, hoy en día la intensidad del campo magnético es unas 10.000 veces menor que el de la Tierra. El campo magnético global se perdió hace unos 4.000 millones de años. Como consecuencia directa, el bombardeo de partículas del viento solar sobre la superficie se incrementó. Gran parte de la atmósfera se perdió por el proceso de *sputtering*, dando paso a una atmósfera enrarecida con una composición que nada tiene que ver con la de la atmósfera terrestre.

La presión atmosférica en la superficie es aproximadamente entre el 0,4 y el 0,6 % de la terrestre. ¡El equivalente a la de la Tierra a 35 km de altitud sobre la superficie! Recordemos que los aviones de línea vuelan a unos 10 km. Pero



La pérdida de la gran mayoría de la atmósfera al extinguirse el campo magnético global y la detección reciente de metano.

además, así como la atmósfera terrestre está compuesta en un 78 % de gas inerte nitrógeno, aproximadamente un 20 % de oxígeno, esencial para la vida, y un porcentaje pequeño de dióxido de carbono, vapor de agua y trazas de otros gases, la atmósfera de Marte está compuesta en un 95,32 % de dióxido de carbono, un 2,7 % de nitrógeno, un 1,6 % de argón, un 0,13 % de oxígeno y trazas de otros gases correspondiendo al vapor de agua tan sólo un 0,03 %.

En 2003, la detección de metano en una atmósfera tan oxidada abrió una nueva esperanza sobre la posibilidad de la existencia de alguna forma de vida. Como la producción de metano por la actividad química de la atmósfera se considera despreciable, y su vida media antes de su desintegración fotoquímica se estima en unos 100 años dependiendo de los agentes oxidantes de la atmósfera, se sospecha que el metano sea generado bajo la superficie de alguna forma: biótica o abiótica.

Las dos hipótesis se han trabajado a lo largo de estos años, sin llegar a ninguna conclusión definitiva. Equipos investigadores han medido durante algo más de una década la cantidad de meta-

no expulsado por volcanes terrestres, en particular, el Mauna Aoa, por considerarse similar a los volcanes que puedan estar activos hoy en día en el planeta vecino. Los resultados parecen descartar que el metano de la atmósfera marciana sea debido a un gas volcánico, porque el metano producido al año es unas treinta veces superior al que se produce por los procesos volcánicos terrestres. Otros grupos han tratado de asociar la producción de metano con algún tipo de yacimiento petrolífero que, si bien parece llegar a una mejor correlación sobre las cantidades emitidas de metano, deja muchos puntos abiertos.

Beber de un manantial marciano no es mucho más fácil que respirar. La temperatura en superficie oscila entre unos cómodos 17 °C y los -130 °C. Además, la práctica ausencia de atmósfera acentúa las fluctuaciones térmicas diurnas, nuestras famosas mínimas y máximas. La temperatura media son -63 °C, que no permite la existencia de agua en fase alguna mas que el hielo. Aunque originalmente se asoció prácticamente todo el hielo con dióxido de carbono, recientemente la sonda Phoenix ha constatado la presencia de hielo en la super-



Pirámide de Maslow para Marte, necesidades humanas en el Planeta Rojo.



ficie compuesto de agua y perclorato, sustancia que, si bien es tóxica, se usa en algunos preparados médicos y es alimento de algunas bacterias terrestres. Otra cuestión interesante es la dicotomía orográfica que presenta. Los dos hemisferios Sur y Norte marcianos tienen un aspecto muy diferente. Mientras que el hemisferio Norte presenta una gran depresión, el hemisferio Sur corresponde a una zona de tierras altas con elevada concentración de cráteres y el monte más alto de todo el sistema solar, el *Olympus Mons*. Algunos científicos atribuyen toda la depresión del Norte del planeta a un antiguo gran océano. Hipótesis que es compatible con la curva de nivel del perímetro de esta gran depresión geográfica. Por otro lado, las evidencias de la existencia de agua corriente no faltan. Y también se habla de depósitos de agua congelada subterráneos ¿Pudo tener un ciclo de agua como el que tenemos en la Tierra?

Admitiendo que la extracción de agua del suelo marciano sea factible, una forma de alimento ligada a la agricultura (a falta de ibéricos), solo podría sostenerse con fuentes artificiales de iluminación. Hay que tener en cuenta que además de la diferencia de irradiación solar en ambos planetas por las distintas distancias medias al Sol: $589,2 \text{ W/m}^2$ en la Tierra y $1367,6 \text{ W/m}^2$ en Marte, éste describe una órbita excepcionalmente excéntrica alrededor del Sol llegando a colocarse a una distancia de 206,7 millones de km del mismo en su perihelio durante el verano marciano (unas 1,4 veces la distancia media de la Tierra al Sol) y a unos 249,1 millones de km en su afelio.

Todos estos contratiempos son retos tecnológicos para el futuro como fueron en su día llevar corriente a las casas, con el correspondiente factor correctivo, naturalmente.

“Enviar humanos a Marte no parece factible en los años venideros.”

Una vez resueltas las necesidades fisiológicas, entre los aspectos de seguridad a tener en cuenta para la futura base se encontrarían, entre otros, las grandes tormentas globales y efectos derivados de la ausencia de campo magnético global.

La ausencia de océanos simplifica mucho, comparativamente con la Tierra, los movimientos de masas de aire. La circulación atmosférica está fundamentalmente regida por un movimiento de convección entre el ecuador y los polos. Estos movimientos globales de la atmósfera enrarecida y cargada en ausencia de humedad desencadena las famosas tormentas globales. Por comparar, una tormenta global del Planeta Rojo puede tener una envergadura no solo superior a la de una tormenta de arena terrestre sino también a la de un tornado, por lo que habría que proteger convenientemente la base habitada.

Por otra parte, la fluencia de partículas cargadas de alta energía, sobre la superficie, enfermaría a los exploradores humanos, por lo que habría que buscar una región donde exista una capa magnética protectora (magnetosfera) o procurarla artificialmente. La otra opción sería vivir bajo tierra.

A este respecto se ha comentado que en Marte no existe un campo magnético global. Sin embargo, gracias a los datos de campo magnético de la misión Mars Global Surveyor, se sabe que tiene anomalías magnéticas, es decir, zonas en las cuales el campo magnético se aparta del campo global medio. Esto no es un caso chocante dado que la Tierra también tiene su propio mapa de anomalías magnéticas superpuestas al campo global. De hecho, concretamente las hileras consecutivas de material imanado, en sentidos opuestos, paralelas a las dorsales oceánicas sirvió para probar la teoría de las inversiones estocásticas del campo magnético en la Tierra. Lo que es verdaderamente sorprendente es que los modelos que se han hecho a partir de los



Tormenta global en Marte.



datos magnéticos de la MGS muestran franjas de imanaciones opuestas paralelas al Ecuador, en las zonas altas del planeta y no en el lecho oceánico como ocurre en nuestro planeta. La explicación de las anomalías magnéticas oceánicas es la siguiente: los basaltos, al emerger a altas temperaturas desde el manto de la Tierra, sufren un enfriamiento rápido por debajo de la temperatura de transición magnética que hace que los minerales con cierto momento magnético se queden imanados registrando la dirección y sentido del campo geomagnético en el momento del enfriamiento. Cómo se ha producido la imanación de los

minerales en las tierras altas y, es más, qué mecanismo ancla su imanación tanto tiempo después de la extinción del antiguo campo global es un misterio por resolver. Sin embargo, las grandes extensiones de zonas imanadas pueden

albergar una magnetosfera local y pudieran establecerse como zonas propicias para los asentamientos humanos. En épocas de calma solar, la pequeña magnetosfera tendría el papel de escudo protector para la vida evitando la entrada de radiación del viento solar y del medio interplanetario. Sin embargo, habría que prestar especial atención a la meteorología espacial. Ésta estudia todos los eventos solares extremos (fulguraciones solares, eyecciones de masa coronal, agujeros coronales) y las alertas por meteorología espacial tratan de cubrir los efectos derivados de los mismos como son los daños graves en las estaciones

de transformación eléctrica, apagones de ciudades enteras, incendios de gaseoductos, riesgo elevado de las tripulaciones de aeronaves y de astronautas, etc. En la Tierra ya se ha tomado conciencia de la gravedad de las situaciones provocadas por los eventos solares extremos y se está empezando a trabajar en dispositivos para poder combatirlos: sistemas de alerta para anticiparse y protocolos de actuación para mitigar sus efectos nocivos. Pero allí la gravedad de los efectos puede ser mucho mayor debido a la eficiencia de cualquier magnetosfera de cobertura local comparada con la magnetosfera terrestre.

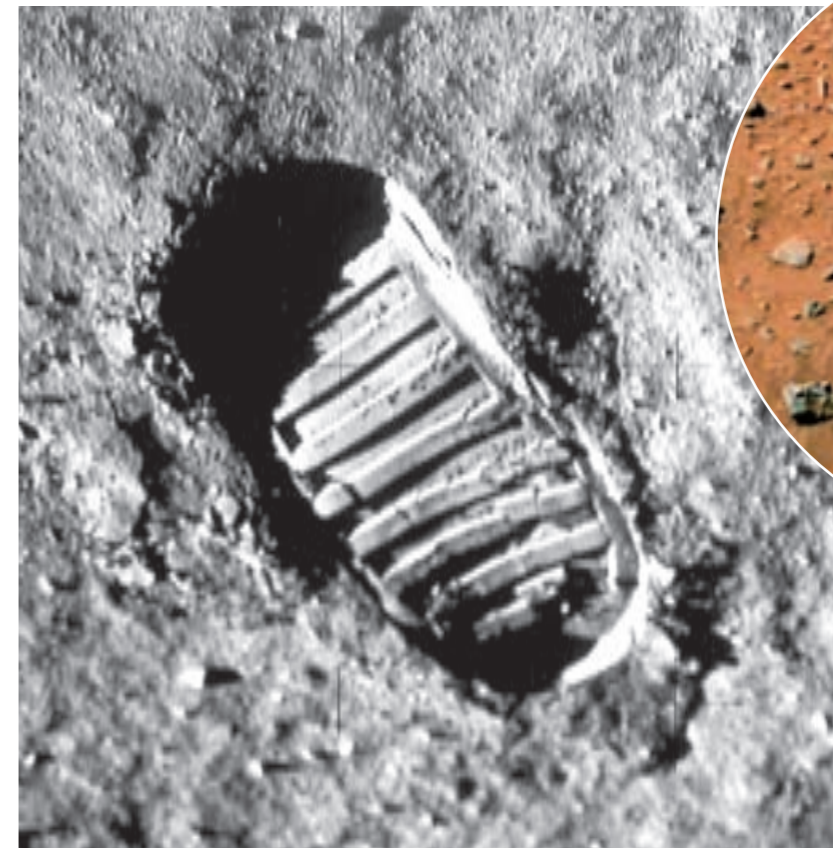
La parte positiva de cara a la seguridad es que dado que, por lo menos, a día de hoy no se ha podido probar la existencia de vida, aunque también esto es un misterio sin resolver, si esto si-

gue así no sería necesario plantear el problema del daño que potencialmente pueden ocasionar estas formas de vida al ser humano.

Así mismo, una exploración responsable, y en este punto ya subimos en la pirámide a los dos penúltimos niveles, no olvidaría la cuestión de la protección planetaria. Ésta consiste en la esterilización de todos los equipos que parten hacia otro planeta para no contaminarlos ni alterar ningún tipo de ecosistema en el supuesto de que los haya.

La vida en Marte sería tan difícil que autorealizarse parece un objetivo lejano.

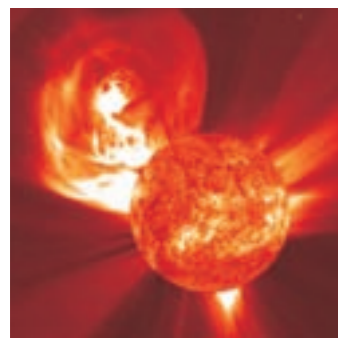
Hoy por hoy, pienso en la autorrealización como el éxito que me gustaría que tuviera la misión en la que trabajamos. Esta misión se llama



Primera pisada del hombre en la Luna (1969), e imagen soñadora sobre nuestra pisada en Marte (¿2050?).

FENÓMENOS SOLARES EXTREMOS

FULGURACIONES SOLARES

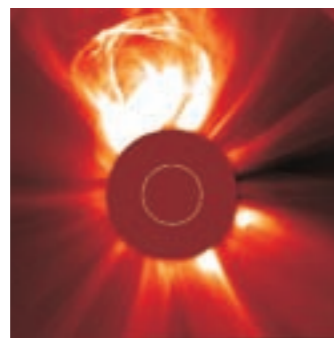


RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA:
Llegada inmediata.
Duración: minutos, 1-2 horas.

RAYOS X, EUV, BLOQUEOS DE RADIO

Comunicaciones radio, Navegadores.

EYECCIONES DE MASA CORONAL

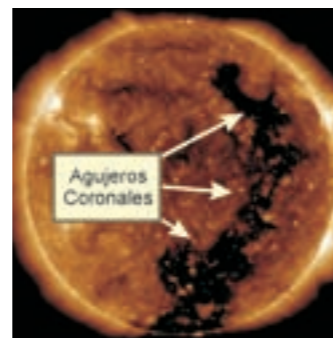


PARTÍCULAS DE ALTA ENERGÍA:
Llegada en 15 minutos, pocas horas.
Duración: días.

EVENTOS DE PROTONES

Astronautas, Naves espaciales, Líneas aéreas.

AGUJEROS CORONALES



PARTÍCULAS DE MEDIA BAJA ENERGÍA:
Llegada: 2-4 días,
Duración: días.

TORMENTAS GEOMAGNÉTICAS

Redes de potencia eléctrica, conducciones de gas...

MetNet Precursor y consiste en el primer aterrizador con estación meteorológica de una red de ellos: la misión completa MetNet.

Los aterrizadores tienen una estructura conocida como penetrador. Estos modelos de aterrizador están diseñados para clavarse literalmente sobre la superficie tras su vuelo desde la sonda que los transporta, por lo que, además de una alta temperatura debida a la fricción con la atmósfera durante su vuelo, tienen que soportar un impacto de entre 500 y 1500 g ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). España, entre varios grupos (el INTA, la UCM, la UC3M, la USE y una empresa llamada Arquímea), está desarrollando varias cargas útiles miniaturizadas para esta primera sonda MetNet: un sensor de irradiancia espectral, un magnetómetro y gradiómetro, para medir las propiedades magnéticas del suelo, y un sensor de polvo con un sistema barredor para retirar el polvo de una superficie óptica.

Hasta el día de hoy, a Marte han ido misiones de todo tipo: orbitadores, aterrizadores y rovers, y más que hay proyectadas. Enviar humanos a Marte no parece factible en los años venideros. El viaje dura en torno a seis meses, la nave debiera ser autosuficiente para mantener la vida de los tripulantes durante todo el viaje, el periodo de estancia y el regreso. Pero multitud de científicos y tecnólogos trabajan para que la aventura sea realizable en un futuro. A día de hoy, es posible que el planeta vecino importe solo a unos pocos. Pero esos pocos estamos convencidos de que será clave en el futuro y empujamos con nuestro trabajo y con nuestros sueños para estar preparados cuando ese día llegue.

Marina Díaz-Michelena

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

Construyendo...

*...el Espacio Europeo
de Educación Superior*



Grado en Biotecnología

Grado en Física

Grado en Geología

Grado en Matemáticas

Grado en Óptica y Optometría

Grado en Química

GRADOS



Máster en Biología Molecular y Celular

Máster en Física y Tecnologías Físicas

Máster en Iniciación a la Investigación en Geología

Máster en Iniciación a la Investigación en Matemáticas

Máster en Investigación Química

Máster en Materiales Nanoestructurados para

Aplicaciones Nanotecnológicas

Máster en Modelización Matemática,

Estadística y Computación

Máster en Química Sostenible

Máster en Ingeniería de Membranas

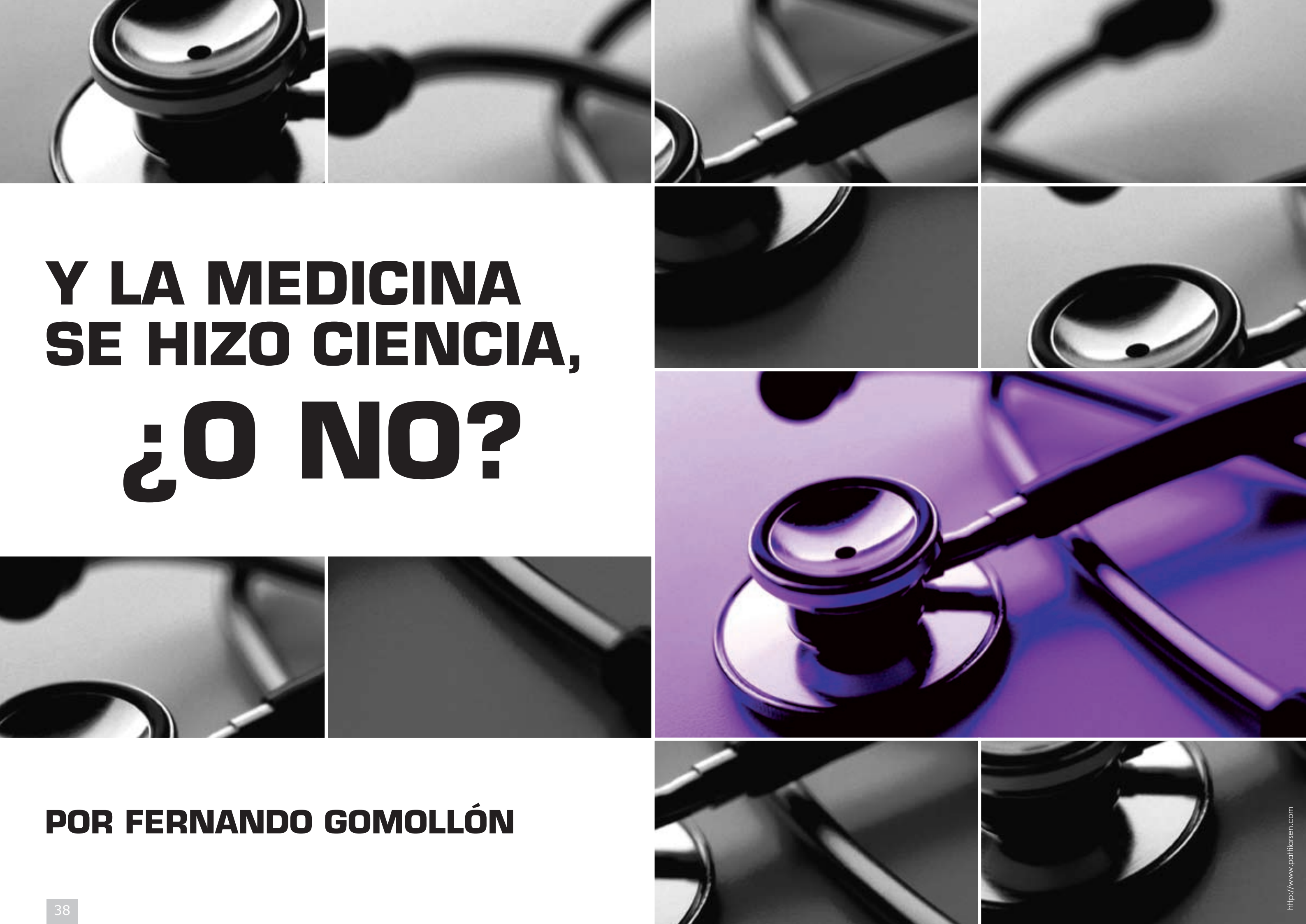
MÁSTERES



¡matricúlate!

<http://ciencias.unizar.es/web/>





**Y LA MEDICINA
SE HIZO CIENCIA,
¿O NO?**

POR FERNANDO GOMOLLÓN

Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no?

El predominio del pensamiento científico no es tan reciente como nos pudiera parecer, y menos en Medicina. Hasta los últimos siglos, las aportaciones científicas al razonamiento médico eran escasas y, demasiado a menudo, apenas eran perceptibles entre una maraña de conceptos mágicos. Por una parte, no faltan ejemplos de medicina basada en la observación, por ejemplo de las propiedades curativas de algunas plantas, no solo entre los homínidos sino también entre nuestros primos, los simios y los monos. Así, los chimpancés esco-

gen, con sumo cuidado, algunas plantas para desparasitarse, tomándolas a pesar de su sabor o aspecto desagradable¹. Curiosamente, sin embargo, la evolución cultural ligada a la aparición de las sociedades humanas complejas, en los últimos 10.000 años, resultaba no solo en la generalización de métodos de tratamiento de fundamento mágico, como el mesmerismo o la homeopatía, sino en la adopción de algunos procedimientos, incluso peligrosos, como las sangrías generalizadas: una práctica que duró siglos, utilizándose para cualquier circunstancia. De hecho, entre los soldados españoles,

“La mayor parte de las intervenciones médicas perjudicaban al paciente, en lugar de beneficiarle, hasta bien entrado el siglo XX.”

que defendían Cartagena de Indias, en 1741, de los ataques de la mayor Armada reclutada por Gran Bretaña, era bien sabido que, si enfermaban de “Fiebres” (Malaria y Fiebre Amarilla eran las enfermedades más comunes), un principio fundamental del tratamiento era evitar ir al hospital². Los *matasanos* allí presentes, con toda su buena voluntad, aumentaban la mortalidad con sus prácticas basadas en la superstición. Digamos, de paso, que un autor tan prestigioso como Arturo Pérez Reverte suele atribuir nuestra victoria en dicha guerra al valor y pericia militar de los defensores y, en especial, a su jefe vasco, Blas de Lezo, conocido como “mediohombre” por las mutilaciones que sufría, consecuencia de anteriores gestas bélicas. Sin menospreciar el arrojo y experiencia militar de *mediohombre*, es científicamente indudable que la falta de inmunidad de los atacantes, frente a la Malaria y la Fiebre Amarilla, fue el verdadero determinante de nuestro éxito. Nuestros aliados más determinantes no fueron las balas, el valor, la estrategia o la pólvora, sino nuestros anticuerpos, los mosquitos, la humedad y las altas temperaturas². Un tiempo después, el mismísimo George Washington falleció, no en alguna de las múltiples batallas en las que intervino sino tras recibir tratamiento para una amigdalitis con varias flebotomías, en las que se le extrajo más de litro y medio de sangre. Florence Nightingale, la fundadora de la enfermería moderna, pasó a la historia por demostrarle a la Reina Victoria que, en la guerra de Crimea, la disentería era mucho más mortal que el enemigo. Por cierto, que para aquella demostración inventó el gráfico de “tartas” que tan, a menudo, utilizamos hoy en las presentaciones. Ignaz Semmelweis fue capaz de demostrar en la misma época que, en la Maternidad de Viena, el ala atendida por médicos mostraba mucha más mortalidad que el ala atendida por matronas, y que, solo lavándose las manos, las cifras de complicaciones se igualaron. De hecho, la mayor parte de las intervenciones médicas perjudicaban al paciente, en lugar de beneficiarle, hasta bien entrado el siglo XX. No poca responsabilidad en estos comportamientos tenía el *principio de autoridad*, tradicional enemigo del progreso científico, criticado expresamente



1. Benyus J. M., Biomimesis. Metatemas. Tusquets. 2012.
2. McNeill J.R. Mosquito Empires. Ecology and War in the Greater Caribbean, 1620. Cambridge University Press. Cambridge. 2010.

Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no?



“Una investigación”, Joaquín Sorolla. Cuadro que muestra a Luis Simarro trabajando en el laboratorio. Luis Simarro fue quién enseñó a Ramón y Cajal el método Golgi de tinción.

por Santiago Ramón y Cajal³, citando alguna de sus experiencias con algún profesor tradicional en la Facultad de Medicina de Zaragoza. El respeto a lo que habían dicho los maestros importaba, demasiado a menudo, más que la observación o la experimentación.

El indudable progreso de las ciencias no encontraba fácilmente su repercusión en la Medicina, reconocida más bien como un *arte* ligado más a las (presuntas) habilidades del médico que a los principios científicos. Quizás se produjo un verdadero punto de inflexión durante el siglo XIX, ante los espectaculares avances en Biología, Fisiología, Histología y Bacteriología y la Neuroanatomía, por ejemplo. Diciéndolo en nombres propios: Charles Darwin, Claude Bernard, Rudolf Virchow, Louis Pasteur y Santiago Ramón y Cajal serían algunas de las personas

más destacadas. De hecho, no hay duda de que la idea que situó a la Biología en el mundo científico es el concepto de *selección natural*, concepto aparentemente sencillo, pero muy difícil de aprehender desde el punto de vista de la Ciencia. Resulta un ejercicio intelectual muy recomendable leer el libro original⁴. Pero, más que en los avances concretos, debemos fijarnos en el cambio metodológico común a todos ellos: *simple* y llanamente se aplicaba el método científico a las diversas disciplinas a las que se dedicaban.

Sin embargo, las barreras entre los avances científicos y los pacientes son múltiples y, solo durante el siglo XX, los cambios en la Biología fueron trasladándose, de forma significativa y poco a poco, a la Medicina, y mucho más, poco a poco, a la medicina práctica. Los mé-

dicos comenzaron a emplear el método científico de forma cada vez más común, y las interacciones entre las Ciencias, la Tecnología y la Medicina comenzaron a crecer. Para ello un caldo de cultivo necesario fueron los ambientes de algunas universidades, especialmente, norteamericanas, en las que se promovía la interacción entre los científicos dedicados a disciplinas diversas, una característica que perdura hasta hoy en universidades como Harvard. Las facultades de Medicina fueron cada vez más permeables a las ciencias básicas, y los médicos clínicos también poco a poco fueron incorporando la metodología científica a sus investigaciones, e incluso a su práctica clínica. Tras numerosos esfuerzos individuales y aislados, surgió, mucho más tarde, un movimiento conocido como “Evidence Based Medicine” promovido, sobre todo, por epidemiólogos y expertos en salud pública, que trataba de cambiar radicalmente la aproximación del médico a la realidad, no solo en los procesos de investigación

“No hay duda de que la idea que situó a la Biología en el mundo científico es el concepto de selección natural, concepto aparentemente sencillo, pero muy difícil de aprehender desde el punto de vista de la Ciencia.”

3. Ramón y Cajal S. *Los tónicos de la voluntad. Reglas y consejos sobre investigación científica*. Edición de Leoncio López-Ocón. Gadir. Madrid. 2005.
4. Darwin C. *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. Penguin Classics. London. 1859 (Reimpression 1985).



Escuela Médica de Harvard, Boston (EEUU).
Fotografía por Enzo (www.panoramio.com)

Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no?



Algunas de las revistas médicas más importantes a nivel internacional.

sino en el día a día de la consulta o el hospital. Los ensayos clínicos y sus resultados han ido ganando en importancia y repercusión, mientras que las opiniones y las tradiciones son cada vez menos valoradas. El análisis estadístico e, incluso, la evaluación económica forman parte de la formación esencial del médico, y una buena comprensión de los principios de la teoría de probabilidades está detrás de cualquier práctica médica eficiente. La Biología, la Biotecnología, la Informática, la Física, la Química, la Farmacología, y otras disciplinas van permeando, poco a poco, la Medicina. Las revistas médicas cambiaron radicalmente: aparecían cada vez menos casos clínicos individuales o series de casos, y cada vez más estudios genéticos, bioquímicos o inmunológicos. De unas líneas apresuradas, las secciones de material y métodos de los artículos pasaban a ser el verdadero núcleo del artículo. La revisión por pares pasó a ser obligatoria en cualquier buena revista médica, y la mayor parte de ellas incorporan consultores estadísticos y metodológicos externos, para llevar a cabo evaluaciones independientes de los artículos que se les remiten. Esta selección, claramente arbitraria e incompleta, solo pretende describir una parte de los cambios que se han ido produciendo en los últimos 100 años. Obviamente, estos progresos no se han producido sin oposición y, como señalaba hace unos años un artículo humorístico en el British Medical Journal⁵, se pueden reconocer, al menos, siete alternativas a la Medicina basada en la evidencia (o, para ser más exactos en español, en las pruebas): Medicina basada en la eminencia, en la vehemencia, en la elocuencia, en la providencia, en la timidez, en el miedo, o en la confianza. Aunque se apliquen en el día a día muy a menudo, ninguna de ellas resiste el más mínimo análisis.

El reconocimiento de todos estos cambios podría llevarnos, en una evaluación superficial, a pensar que la Medicina, por fin, se ha transformado en Ciencia, o en una Ciencia con un componente práctico de técnica. O, si aplicamos la lógica difusa⁶, al menos es 95% ciencia técnica y 5% residual arte. Pero no podemos olvidar que en la Medicina práctica se sigue produciendo constantemente, aunque a veces en condiciones precarias, el "acto médico". Es el proceso de interacción entre el paciente concreto y el médico concreto, en un momento concreto, en unas circunstancias muy concretas. En dicho acto médico, la Ciencia ha ido también penetrando, poco a poco: los test diagnósticos son más avanzados y fiables, los procedimientos terapéuticos han sido evaluados con mayor rigor, e incluso se puede disponer del auxilio inmediato de herramientas avanzadas como un ordenador o una conexión a la red. Sin embargo, el intercambio entre médico y paciente sigue estando condicionado por factores psicológicos y ambientales muy complejos. Durante un simple acto médico, que en nuestras circunstancias actuales lleva solo unos pocos minutos, el paciente ha de ser capaz de comunicar todas sus preocupaciones y el médico ha de ser capaz de entenderlas, hacerlas encajar en un patrón diagnóstico, valorar su importancia, contextualizarlas en el resto de problemas de ese paciente, y, por supuesto, en el medio en el que se desenvuelve. En unos pocos minutos tiene que tomar muchas decisiones: ¿está realmente enfermo? ¿es una enfermedad grave? ¿debo remitirlo al hospital? ¿debo remitirlo a otro colega? ¿debo solicitarle alguna explo-



ración? ¿cuándo tendré que volver a verlo? ¿le prescribo ya una medicación? ¿no será alérgico a esta medicación?. Y mientras todas estas preguntas pasan por su cabeza, no es raro que reciba llamadas por alguna urgencia o alguna simpleza burocrática, mientras calcula que otros veinticinco pacientes esperan su turno para el resto de la mañana. Y no es nada raro que, además, sea preciso acompañar estas decisiones de una actitud docente, con los alumnos o los médicos residentes al lado y, algo más raro, que haya que pensar a la vez en un determinado protocolo de investigación. Y, aunque intente aplicar siempre los principios científicos, en la práctica el médico se ve obligado a decidir en no pocas ocasiones intuitivamente.

5. Isaacs D., Fitzgerald D. *Seven alternatives to evidence based medicine*. BMJ 1999; 319:1618.

6. Kosko B. *El futuro borroso o el cielo en un chip*. Crítica. Barcelona. 2000.

Y la Medicina se hizo Ciencia, ¿o no?

Es así, tenemos que reconocer que una parte importante de las decisiones, que toma el médico en la consulta, son meramente intuitivas. Corresponden, por tanto, a lo que es conocido como el arte de la Medicina. No sería de extrañar que, en este mundo tan científico, asumiéramos de inmediato que esto es malo. Que lo que sería bueno es que el quehacer del médico fuera más y más científico, que se acercara lo más posible a las ciencias y técnicas más puras; que fuera muy matemático y muy poco especulativo.

Pero ¿es realmente tan malo que necesitemos la intuición?. Tal vez, no tanto. Tal vez, simplemente no.

En primer lugar, podemos afirmar que el *supercomputador* más perfecto que existe sigue siendo, incluso después de presentarse el último modelo de iPad®, el cerebro humano. Es un procesador paralelo capaz de analizar información, integrarla, procesarla, asociarla, recordarla y utilizarla, funcionando durante horas y horas, a lo largo de décadas, sin descanso, y con un constante proceso de aprendizaje. La intuición es, en realidad, el resultado de la aplicación de los mecanismos bayesianos de aprendizaje del cerebro humano, cuya garantía de calidad son 3.500 millones de años de evolución y selección, algo superior al diseño de los más recientes aparatos ideados por el ser humano. No está de más recordar que las más recientes células fotovoltaicas consiguen una eficiencia energética del 20%, mientras que la fotosíntesis se acerca al 95%.

Pero hay, además, otro aspecto esencial. El acto médico es un ejemplo más de la característica evolutiva más sorprendente del ser humano: su capacidad social. La cooperación es no solo un mecanismo esencial para comprender la evolución⁷, sino el fundamento del funcionamiento de la sociedad y la mente humanas⁸. Y, en este acto de relación humana, no podemos olvidar el componente emocional, la necesidad de la empatía entre el profesional sanitario y el paciente, una parte esencial del proceso de curación. La curación no consiste solo en no tener dolor, no tener fiebre, o en la cicatrización de una herida. El proceso de curación no será completo hasta que el paciente no esté reintegrado en plenitud de fa-

“Podemos afirmar que el *supercomputador* más perfecto que existe sigue siendo el cerebro humano.”

cultades a su vida normal, algo que en el ser humano es inconcebible sin estar plenamente integrado en varios grupos sociales. Y, aunque tal vez en el futuro la Ciencia sea capaz de desentrañar el complejísimo mundo de las relaciones humanas, solo un arte, la literatura, es capaz, hoy por hoy, de ayudarnos a comprender, intuitivamente por supuesto, la magnífica humanidad del acto médico⁹. Y no podemos negar que la facultad principal del buen literato es, precisamente, la intuición.

“La Medicina no será nunca sólo Ciencia porque es Ciencia y Arte.”

Y, por ello, me atrevo a concluir que no, la Medicina no se ha hecho Ciencia. Es más, me atrevo a conjeturar que paradójicamente, ne-

cesitando ser cada vez más científica, nunca se hará Ciencia, porque no es solo Ciencia, es algo más. Decía Beethoven que solo la Ciencia y el Arte hacen que la existencia del ser humano tenga sentido. La Medicina no será nunca sólo Ciencia porque es Ciencia y Arte. Y mientras sea humana, necesitará ser Arte para ser buena Medicina.

Fernando Gomollón

Dpto. de Medicina, Psiquiatría y Dermatología
Facultad de Medicina
Universidad de Zaragoza

IIS Aragón. CIBEREHD
Servicio de Aparato Digestivo
Hospital Clínico Universitario
Zaragoza

7. Nowak M. (with Highfield R.). *Supercooperators. Evolution, Altruism and Human Behaviour*. Cannongate Books. Edinburgh. 2011.
8. Pagel M. *Wired for culture: Origins of the Human Social Mind*. WW Norton Company. New York. 2012.
9. Gawande A. *Better*. Profile Books. New York. 2007.





MARIE CURIE:

CIENCIA Y HUMANIDAD

*"Nunca veo lo que se ha hecho;
solo veo lo que queda por hacer."*

Marie Curie.

POR PASCUAL ROMÁN

Marie Curie: Ciencia y Humanidad

El 11 de agosto de 1913, Albert Einstein escribió una carta a su prima Elsa Löwenthal –con quien se casaría años más tarde– en la que opinaba sobre el carácter y personalidad de Marie Curie: “Marie Curie es muy inteligente, pero tiene el alma de un arenque, lo que significa que en ella están ausentes todos los sentimientos de alegría y de tristeza”. Esta apreciación ¿era un verdadero reflejo de la personalidad de Marie Curie? o, por el contrario, ¿Einstein estaba equivocado?

Mucho antes de nacer María Salomea Skłodowska, Polonia, su patria, fue dividida entre las grandes potencias vecinas: Austria, Prusia y el Imperio ruso. Al haber nacido en Varsovia, esta región formaba parte del Zarato de Polonia y estaba sometida al Imperio ruso. En noviembre de 1830, los jóvenes cadetes polacos se sublevaron contra sus opresores y fueron duramente reprimidos. Unos años más tarde (1863), los jó-

venes polacos se levantaron contra la obligación de cumplir el servicio militar en el ejército imperial ruso y, en esta ocasión, el Zar reprimió esta rebelión con gran crueldad: prohibiendo hablar el polaco y la difusión y enseñanza de la cultura polaca. Por ello, impuso la obligatoriedad de aprender y hablar el ruso y la rusificación de aquella región de Polonia, incluso cambió su nombre por el de “las tierras del Vístula”.

María Skłodowska nació el 7 de noviembre de 1867 y era la quinta hija del matrimonio compuesto por Władisław Skłodowski y Bronisława Skłodowska (Boguska de soltera). Władisław era profesor de Física y Matemáticas de liceo, nacionalista polaco y ateo. Bronisława era maestra de escuela, pianista y una ferviente católica. La posición de maestra era el máximo cargo al que podían aspirar las mujeres en aquella región de Polonia, además de estarles prohibida la entrada en la universidad. Sofía, su hermana mayor, murió de tifus en 1876 y dos

años más tarde, cuando María tenía 10 años, falleció su madre de tuberculosis, enfermedad que había contraído seis años antes. María se crió sin el calor y las caricias maternas al tener que permanecer alejada de su madre por prescripción médica. La muerte de su madre le causó gran dolor y pena, que le provocaron una profunda depresión y un distanciamiento de la Iglesia Católica. Se volvió agnóstica para, más tarde, abrazar el positivismo de Auguste Comte (1798-1857).

A pesar de las dificultades familiares, sociales, políticas y económicas, Władisław Skłodowski educó a sus hijos –Josef, Bronisława, Helena y María– en la adquisición de sólidos conocimientos científicos y humanísticos, la práctica del deporte y el aprendizaje de idiomas: ruso, polaco, francés, alemán e inglés. Asimismo, inculcó a sus hijos un profundo amor a su patria y un rechazo a Rusia y sus opresores. Todos los hijos de Skłodowski eran muy inteligentes, pero de entre todos ellos destacaba María. Esta se graduó en la escuela secundaria con medalla de oro a los quince años. Al finalizar sus estudios, pasó un año en casa de su tío Boguski, notario en Skalbierz, para recuperarse, según María, de “la fatiga debida al crecimiento y a los estudios”. Durante su recuperación tenía prohibido estudiar, excepto el aprendizaje del francés. En sus memorias recordaba este año como el “Año más feliz y perfecto de mi vida”. En 1884, María comenzó a dar clases particulares para ayudar a la economía familiar. Su padre estaba viejo, cansado, arruinado y sin trabajo a los 52 años.

A los dieciséis años, María y su hermana Bronisława (o Bronia en diminutivo) pactaron estudiar las dos en La Sorbona. Primero, iría Bronia –dos años mayor que María– a estudiar Medicina y ella y su padre le ayu-



María (izquierda) y su hermana Bronisława en 1886 (arriba). María a los 16 años (abajo).

<http://mujeres-riot.webcindario.com>
<http://wikipedia.org>



Universidad de París (Panthéon-Sorbonne).

<http://wikipedia.org>



Gustave Bémont (izquierda), Pierre y Marie Curie en el laboratorio de la rue l'Homond de París realizando medidas con el electrómetro de cuarzo piezoeléctrico.

www.britannica.com

darían económicamente. Luego, una vez que Bronia hubiera finalizado sus estudios, María cursaría la Diplomatura de Físicas en La Sorbona con la ayuda de su hermana.

María participó activamente en la *Universidad Volante*, una universidad ilegal y clandestina que funcionó en Varsovia entre 1885 y 1905. Esta institución, prohibida y perseguida por el régimen zarista, proporcionaba a los jóvenes polacos una educación dentro de la formación académica de la cultura y tradición polacas en su propia lengua.

Desde 1885 hasta marzo de 1889, María se empleó como institutriz con dos familias diferentes. En casa de los Zorawskis, María se enamoró del hijo mayor, Kasimierz, estudiante de Matemáticas en la Universidad de Varsovia. Los padres de Kasimierz se opusieron a esta relación. Aunque trataron de mantenerla por correspondencia sin su conocimiento, María la rompió definitivamente en octubre de 1891, lo que le

dejó una profunda huella. Al mes siguiente, se matriculó en La Sorbona en la Diplomatura de Físicas y decidió cambiar su nombre de María (o Manya) por el de Marie. Inicialmente, vivió con su hermana y su cuñado, que ejercían de médicos en París, pero decidió vivir sola para ahorrar tiempo de transporte y evitar las reuniones sociales en casa de su hermana que le hacían perder un tiempo precioso. Alquiló una buhardilla en el Barrio Latino donde pasó grandes penurias, frío y hambre. La habitación era tan fría que, en invierno, el agua se helaba. Se alimentaba de té, mantequilla, pan, chocolate, fruta y, de vez en cuando, de carne y huevos. Sin embargo, cuando se refería a esta época la recordaba como "uno de los mejores momentos de mi vida". Estas deficiencias las suplía con los conocimientos que adquiría del excelente cuadro de profesores que tenía en La Sorbona, entre los cuales cabe destacar a Paul Émile Appell (1855-1930), Edmond Bouty (1846-1922), Gabriel Lippman (1845-1921, premio Nobel de Física en 1908) y Henri Poincaré (1854-1912). En

el mes de junio de 1893 se graduó en Física con el número uno y entró a trabajar en el laboratorio del profesor Gabriel Lippmann. Aquel año obtuvo la beca de la Fundación Alexandrovitch con 600 rublos por sus logros académicos.

En la primavera de 1894, Marie conoció a Pierre Curie (1859-1906). Ella misma describe ese primer encuentro: *"Conocí a Pierre Curie, por primera vez, en la primavera del año 1894... Un físico polaco [Kowalski], a quien yo conocía y que era un gran admirador de Pierre Curie, un día nos invitó a ambos a pasar la tarde con él y su esposa... Cuando entré en la habitación, vi delante de la puerta que daba al balcón a un hombre joven y alto de pelo castaño rojizo y de ojos grandes y transparentes. Observé la expresión seria y dulce de su cara, así como una cierta indolencia en su actitud que hacía pensar en un soñador absorto en sus reflexiones. Me demostró una sencilla cordialidad y me pareció muy comprensivo. Tras ese primer encuentro, manifestó su deseo de verme de nuevo y de continuar nuestra conversación de aquella tarde sobre temas científicos y sociales, en los que tanto él como yo estábamos interesados y sobre los que parecíamos tener opiniones similares".* Más tarde, recordaba: *"El hecho de que Pierre comprenda lo que significa la Ciencia para mí me llega al alma mucho más que cualquier conversación amorosa".* En aquella época, Pierre era el jefe del laboratorio de Física en la *École Municipale de Physique et de Chimie Industrielles*, situada en la rue l'Homond de París. En julio de 1894, Marie se gradúa de Matemáticas con el número dos y decide regresar a Varsovia para cuidar de su padre y buscar empleo. Pierre Curie, que estaba profundamente enamorado de Marie, le envió varias cartas rogándole que volviera a Francia para continuar sus investigaciones y su relación.

Marie decidió regresar a París y se casó con Pierre el 26 de julio de 1895. Ese mismo año, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923, premio Nobel de Física en 1901)

descubre los rayos X el 8 de noviembre. Al año siguiente, Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descubre accidentalmente la radiactividad espontánea o natural mientras investigaba la fosforescencia de las sales de uranio. Presentó su descubrimiento en la sesión del 24 de febrero de la *Académie de Sciences* con el título "Sur les radiations émises par phosphorescence" en *Comptes Rendus* 1896. El 12 de septiembre de 1897, nació Irène, primera hija de los esposos Curie, quien seguiría la vocación de sus padres, y, tres meses más tarde, Marie inició el estudio de las radiaciones de Becquerel bajo su supervisión.

1898 fue el año mágico de Marie Curie. A mediados de marzo, comenzó la colaboración con Pierre debido a la importancia de las investigaciones de su esposa y, el 12 de abril, Marie Curie presentó su primer artículo en *Comptes Rendus* "Rayons émis par les composés de l'uranium et le thorium". El 18 de julio, Pierre y Marie Curie anunciaron el descubrimiento del polonio. En un acto provocador, reivindicativo y de amor a la patria de Marie, propusieron este nombre, en honor de su Polonia natal, que seguiría dividida durante otros 20 años más hasta alcanzar la independencia en 1918. En septiembre de 1898, Marie introdujo el término radiactividad en un artículo. El 26 de diciembre, los esposos Curie junto con Gustave Bémont (1857-1937) anunciaron el descubrimiento del radio en la *Académie de Sciences*, en la nota titulada "Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende" en *Comptes Rendus* 1898.

"El hecho de que Pierre comprenda lo que significa la Ciencia para mí me llega al alma mucho más que cualquier conversación amorosa."

Marie Curie.

Marie Curie: Ciencia y Humanidad

Marie defendió su tesis doctoral, el 12 de junio de 1903, titulada "Recherches sur les substances radioactives", que fue el preludio de un premio Nobel. Entre las conclusiones más relevantes de su tesis doctoral destacan: 1. "El trabajo ha probado que el radio es un nuevo elemento", 2. "Un nuevo método de investigación química" para la puesta a punto del método radioquímico en la obtención de nuevos elementos radiactivos y 3. "La radiactividad es una propiedad de los átomos".

Ese mismo año, Marie junto con Pierre Curie y Henri Becquerel fueron galardonados con el premio Nobel de Física. Los esposos Curie recibieron la mitad del premio Nobel "en reconocimiento a los extraordinarios servicios que han prestado por sus investigaciones conjuntas sobre los fenómenos de la radiación descubierta por el Profesor Henri Becquerel". Inicialmente, la propuesta del premio Nobel estaba destinada para Becquerel y Pierre Curie, pero éste se negó a recibirlo si no era reconocida su esposa.

Desde 1900 hasta 1904, Marie fue profesora de la Escuela Normal de Señoritas de Sèvres, a la vez que se dedicaba al estudio del radio y el polonio. En diciembre de 1904, nació su hija Ève Denisse, que sería escritora, periodista y pianista. Pierre Curie murió en un trágico accidente, la mañana del día 19 de abril de 1906, arrollado por un vehículo tirado por caballos que transportaba pertrechos militares. La situación familiar en la que quedó Marie era muy difícil de sobrellevar. El 30 de abril de 1906, con el corazón roto por el dolor, escribía en el laboratorio: "Querido Pierre, a quien nunca volveré a ver aquí, quiero hablarte en el silencio de este laboratorio, donde no pensaba que tendría que vivir sin ti. Y, antes, quiero recordar los últimos días que vivimos juntos". Viuda a los 39 años, con dos niñas de corta edad: Irène con 8 años y Ève con uno. Lejos de su familia polaca. Sin un puesto de profesora o investigadora. Le ofrecieron una pensión de viudedad que rechazó alegando que todavía era joven. Más tarde, le concedieron la plaza que había dejado vacante su esposo, convirtiéndose en la primera mujer profesora de La Sorbona, y comenzó sus clases el 5 de noviembre. En 1909, Marie Curie obtiene la Cátedra de Física General en la Facultad de Ciencias de La Sorbona. Al año siguiente, concluyó su libro "Traité de radioactivité" y publicó los artículos "Sur le radium métallique" y "Sur le polonium" en colaboración con André Debierne (1874-1949). En la figura se ve a Marie Curie con sus hijas en 1908. Desde la muerte de su esposo, Marie recibió una gran

"La guerra, hija, es la mayor miseria humana y aquella embargó de locura a todo el mundo. Así que decidí invertir mis años de investigación en aliviar el sufrimiento humano."

Marie Curie.

ayuda de "su querido suegro", Eugène Curie (1827-1910, médico protestante), hasta su fallecimiento el 25 de febrero de 1910. Realmente, más que un abuelo, Eugène fue el padre de sus nietas.

1911, fue un año agri dulce. Presentó su candidatura a un puesto de la Academia de Ciencias de Francia que fue rechazada por un voto en favor del físico, médico e inventor francés Édouard Branly (1844-1940). La prensa conservadora jugó un gran partido en esta decisión, ya que apoyó la candidatura de Branly. La misma prensa desató el escándalo Marie Curie-Paul Langevin en el verano de aquel año, que le produjo una grave depresión y se vio obligada a enviar a sus hijas con su familia a Polonia, por el acoso mediático al que la sometieron. Fue la única mujer que participó en el Primer Congreso Solvay (Bruselas, noviembre de 1911). Aquel año recibió el premio Nobel de Química, en solitario, "en reconocimiento a sus servicios al avance de la Química por el descubrimiento de los elementos radio y polonio, por el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y compuestos de tan remarcable elemento".

Los ecos del escándalo Curie-Langevin llegaron hasta Estocolmo. El influyente físico y químico sueco Svante Arrhenius (1858-1927, premio Nobel de Química en 1903), miembro del Comité Nobel, quien inicialmente había animado a Marie Curie a aceptar el premio Nobel en persona, más tarde, le aconsejó que declinara recoger el premio hasta que la situación se aclarara cuando el escándalo se extendió. Marie se negó y fue a recoger el premio Nobel acompañada por su hermana Bronia.

La conferencia Nobel, que impartió el día 11 de diciembre, la tituló "El radio y los nuevos conceptos en Química". Su comienzo era muy clarificador y reivindicativo de que fue ella la que comenzó los estudios sobre la radiación descubierta por Becquerel, esto es, la pionera de los estudios sobre la radiactividad: "Hace unos 15 años la radiación del uranio fue descubierta por



Marie Curie con el presidente W. G. Harding en la Casa Blanca el 20 de mayo de 1921.

<http://mujeres-riot.webcindario.com>

Henri Becquerel y dos años más tarde el estudio de este fenómeno se extendió a otras sustancias, primero por mí, y luego por Pierre Curie y yo misma".

Una vez finalizada la construcción del Instituto del Radio de París en 1914, una de sus mayores aspiraciones como científica, estalló la Primera Guerra Mundial. Colaboró junto con su hija Irène en la construcción de veinte unidades móviles de rayos X, las "petites Curies". Marie e Irène fueron al frente de batalla para formar a enfermeras y expertos en el manejo de las unidades radiológicas, que contribuyeron a salvar muchas vidas humanas. De la guerra decía a su hija Ève: "La guerra, hija, es la mayor miseria humana y aquella embargó de locura a todo el mundo. Así que decidí invertir mis años de investigación en aliviar el sufrimiento humano".

Marie Curie con sus hijas Ève (izquierda) e Irène en 1908.

<http://mujeres-riot.webcindario.com>



Participantes en el V Congreso Solvay (1927).

<http://wikipedia.org>

Por iniciativa de la periodista norteamericana Marie Mattingly ("Missy") Meloney (1878-1943), editora del periódico *The Delineator*, visitó, en compañía de sus dos hijas, los Estados Unidos de Norteamérica en la primavera de 1921 para recibir, a título personal, del presidente Warren G. Harding un gramo de radio, valorado en 100.000 dólares de la época, en nombre del pueblo de los EE UU. Marie Curie quiso cederlo a su laboratorio y dijo: "[el gramo de radio] pertenece a la ciencia... Deseo hacer un regalo a mi laboratorio". En 1929, visitó por segunda vez los EE UU. En esta ocasión, recibió una importante ayuda económica para equipar el Instituto del Radio en Varsovia, que había fundado en 1925 y del que su hermana Bronia era la directora. Siempre que pudo favoreció a su patria y la ayudó en la medida de sus posibilidades. Es muy curioso el caso de Marie Curie, una mujer e investigadora excepcional, que tuvo dos patrias y a las que amó con todas sus fuerzas.

En 1927, Marie Curie fue la única mujer participante en el V Congreso Solvay, que se considera la reunión científica más importante de

la Historia de la Ciencia. Se dedicó al estudio de "Electrones y fotones". Asistieron veintinueve congresistas, diecisiete de los cuales habían ganado o ganarían el premio Nobel. Para entonces, Marie Curie ya había logrado sus dos premios Nobel.

Marie Curie visitó España en tres ocasiones. En la primera visita asistió al Primer Congreso Nacional de Medicina celebrado en Madrid a finales de abril de 1919. La segunda visita tuvo lugar después de proclamarse la II República, a la que había defendido en los foros internacionales. Se alojó en la Residencia de Estudiantes y visitó Madrid, Toledo, Granada, Almería, Murcia, Valencia y Barcelona durante los meses de abril y mayo de 1931. En la tercera visita, formaba parte de la Comisión Internacional de Cooperación Intelectual de la Sociedad de las Naciones para promover las vocaciones científicas y participar en la reunión sobre "El porvenir de la cultura" en la que impartió una excelente conferencia. Se celebró del 3 al 7 de mayo de 1933 y asistieron, entre otros, Paul Valéry, Gregorio Marañón y Miguel de Unamuno.

El 15 de enero de 1934, Irène y Frédéric Joliot-Curie, que habían contraído matrimonio en 1926, anunciaron el descubrimiento de la radiactividad artificial. Al año siguiente recibieron el premio Nobel de Química, que no pudo disfrutar Marie ya que había fallecido el 4 de julio de 1934 (Sancellemoz, Saboya, Francia) de anemia perniciosa aplásica inducida por una leucemia, causada por la acción de la radiación. Dos días después, fue enterrada en una sencilla ceremonia junto con su marido Pierre, en el panteón de la familia Curie en Sceaux (cerca de París). El 20 de abril de 1995 sus restos, junto con los de su esposo Pierre, fueron trasla-

“En 1911, recibió el premio Nobel de Química en reconocimiento a sus servicios al avance de la Química por el descubrimiento de los elementos radio y polonio, por el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y compuestos de tan remarkable elemento.”

dados al Panteón de Hombres Ilustres de París en un acto de estado presidido por François Mitterand y Lech Wałęsa. Marie Curie es la única mujer enterrada en este Panteón por sus propios méritos. Marie Curie, además de los premios Nobel recibidos en 1903 y 1911, fue galardonada con innumerables premios y distinciones. Fue la primera mujer en ganar un premio Nobel y la primera persona en obtener dos premios Nobel en dos áreas distintas de la Ciencia.

Su hija Ève, que vivió 102 años y escribió la primera gran biografía de Marie Curie, nos dejó un retrato muy entrañable de los últimos días de su madre: *“Al nacer yo, mi madre tenía 37 años. Cuando estuve en la edad de conocerla bien, era una anciana ilustre, la ‘ilustre investigadora’. En cambio, me parece haber vivido siempre al lado de la estudiante pobre y soñadora que fue Manya Skłodowska. En el instante mismo de su muerte, seguía pareciéndose a aquella joven. Era aún dulce, obstinada, tímida y curiosa. Marie tuvo un entierro silencioso y sencillo en un cementerio silvestre, entre las flores del estío, como si la vida que terminaba pareciera a tantas otras”*.

Marie Curie y su esposo Pierre tenían unas ideas socialmente avanzadas y, entre otras cosas, nos dejaron el legado “En interés de toda la hu-



Marie Curie y su hija Irène con el Rey Alfonso XIII durante el I Congreso Nacional de Medicina (Madrid, 23 de abril de 1919).

<http://international.stockholm.se>

Marie Curie: Ciencia y Humanidad

manidad" que recoge Marie en sus *Notas autobiográficas* de 1921 que, por su importancia, se transcribe a continuación:

"Al renunciar a la explotación de nuestro descubrimiento, hemos renunciado a la fortuna que habría podido, en nuestra opinión, ser transmitida a nuestros hijos. A menudo, he tenido que defender nuestras ideas ante nuestros amigos que pretendían, no sin razón válida, que si hubiéramos garantizado nuestros derechos, hubiéramos logrado los recursos financieros necesarios para crear un Instituto del Radio satisfactorio. Pero sigo convencida de que teníamos razón para hacerlo así.

La humanidad ciertamente necesita hombres prácticos que saquen el máximo provecho de su trabajo sin olvidar el bien general, salvaguardando sus propios intereses. Pero también necesita soñadores, para que los resultados desinteresados de una empresa sean tan apasionantes que les resulte imposible dedicar su atención a sus propios beneficios materiales.

Puede ser que estos soñadores no merezcan la riqueza: sin embargo, una sociedad bien organizada deberá asegurar a sus trabajadores los medios eficaces para llevar a cabo su tarea con una vida liberada de preocupaciones materiales y libremente consagrada al servicio de la investigación científica".

Su amor y obsesión por la Ciencia, que le causaron grandes quebrantos a su salud y adelantaron su muerte, queda reflejada en esta cita: "Nunca veo lo que se ha hecho; solo veo lo que queda por hacer" y en esta otra, que muestra una gran fortaleza de espíritu, determinación y entrega a sus ideales: la Ciencia y la investigación, "He dedicado una gran cantidad de tiempo a la Ciencia porque quise, porque amaba la investigación". Su generosa entrega a la humanidad y su pasión por la Ciencia quedan resaltadas en esta frase de Einstein: "Marie Curie es, de todos los seres humanos célebres, el único a quien la fama no ha corrompido".

Marie Curie es una de las científicas más populares del mundo. Además de los reconocimientos científicos y académicos conseguidos en vida; su imagen, su figura, su nombre o su biografía aparecen en: un elemento químico de la tabla periódica, estatuas, sellos, billetes, monedas, medallas, calles, estaciones de metro, museos, centros de investigación, universidades, centros de enseñanza primaria y secundaria, incluso hay un cráter lunar situado en la cara oculta de la Luna denominado Skłodowska. Su vida se ha llevado al cine, teatro y televisión. Es de destacar la famosa película de 1943, basada en la biografía escrita por su hija Ève en 1937, dirigida por Mervyn LeRoy con el título *Madame Curie* e interpretada por Greer Garson (en el papel de Marie Curie) y Walter Pidgeon (Pierre Curie). Otra película más re-

Panteón de París, lugar en el que se encuentra enterrada Marie Curie.

<http://lacomunidad.elpais.com>



Portada de la revista *Anales de Química* de la RSEQ en la que se observa el sello de Correos y la moneda de la Real Casa de la Moneda dedicados a Marie Curie en 1911.

ciente, basada en la vida de Marie Curie, se estrenó en 1997 con el título *Los méritos de Madame Curie*, dirigida por Claude Pinoteau e interpretada por Isabelle Huppert (Marie Curie) y Charles Berling (Pierre Curie). En la figura, se muestra la portada de la revista *Anales de Química* de la RSEQ con el sello de Correos y la moneda de la Real Casa de la Moneda de España dedicados a Marie Curie, con motivo de la celebración del Año Internacional de la Química y el centenario de la obtención, por Marie Curie, del premio Nobel de Química. La imagen de Marie Curie, que aparece en el sello, está sacada de una fotografía tomada en la casa del director de la Residencia de Estudiantes (Madrid) el 22 de abril de 1931.

Pascual Román

Dpto. de Química Inorgánica
Facultad de Ciencia y Tecnología
Universidad del País Vasco

BIBLIOGRAFÍA

- Curie M., *Escritos biográficos*, Traducción de Palmira Feixas, El Espejo y la Lámpara / Edicions de la UAB, Bellaterra (Barcelona), 2011.
- Sánchez J. M., *Marie Curie y su tiempo*, Editorial Crítica, Barcelona, 2009.
- Goldsmith B., *Marie Curie, genio obsesivo*, Antoni Bosch editor, Barcelona, 2005.
- Reid R., *Marie Curie*, Traducción de Marta Sánchez Martín, Salvat Editores S.A., Barcelona, 1995.
- Curie E., *La vida heroica de Marie Curie descubridora del radio (contada por su hija)*, Traducción de F. Madrid, 30ª edición, Espasa Calpe, Madrid, 1986.
- Número monográfico dedicado a Marie Skłodowska Curie por la IUPAC, *Chem. Int.* 2011, 33(1), 1-48.
- Sánchez J. M., *Marie Curie, la Radiactividad y los Premios Nobel*, *An. Quím.* 2011, 107(1), 84-93.
- Mould R. F., *The Discovery of radium in 1898 by Maria Sklodowska-Curie (1867-1934) and Pierre Curie (1859-1906) with commentary on their life and times*, *Br. J. Radiol.* 1998, 71, 1229-1254, <http://bit.ly/zN9Cxm>, visitada el 11/01/2012.
- Wolke R. L., *Marie Curie's Doctoral Thesis: Prelude to a Nobel Prize*, *J. Chem. Educ.* 1988, 65(7), 567-573.
- *The Nobel Prize in Physics 1903, Henri Becquerel, Pierre Curie, Marie Curie, Biography*, <http://bit.ly/yWXc85>, visitada el 11/01/2012.
- *The Nobel Prize in Chemistry 1911, Marie Curie, Biography*, <http://bit.ly/zJgezU>, visitada el 11/01/2012.
- Marie Curie and the Science of Radioactivity, The Discovery of Polonium and Radium, <http://bit.ly/yXHs1U>, visitada el 11/01/2012.
- Marie Curie, Wikipedia: en español, <http://bit.ly/kQZJcx>, en francés, <http://bit.ly/zf827T>, en inglés, <http://bit.ly/z9OCuU>, visitadas el 11/01/2012.

Y PRÓXIMAMENTE...

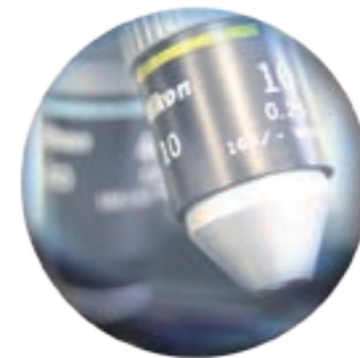
SEMANA DE
INMERSIÓN EN CIENCIAS
2 0 1 2



Si eres alumno de 4° de ESO Y 1° de Bachillerato...
Quieres conocer la Facultad de Ciencias...
Y compartir con nuestros profesores e investigadores su trabajo...

*¡Apíntate a la Semana de
Inmersión en Ciencias 2012!*

¡Descubrirás un mundo apasionante!



Del 11 al 15 de junio
Para alumnos de
4° de ESO y
1° de Bachillerato

Más información en:

[http://ciencias.unizar.es/web/
inmersionCiencia.do](http://ciencias.unizar.es/web/inmersionCiencia.do)

**FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

C/ Pedro Cerbuna, 12
50009 Zaragoza
976 761295

<http://ciencias.unizar.es/web>

