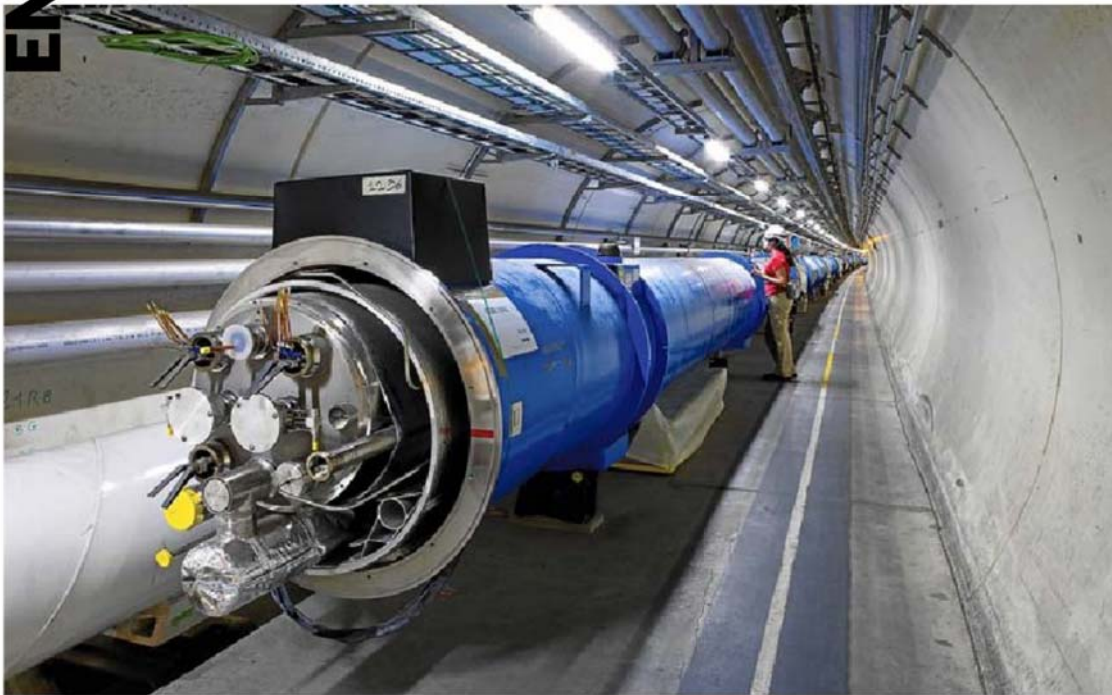


# FÍSICA > CIEN AÑOS DE SUPERCONDUCTIVIDAD

Hubo que enfriarlo muchísimo para descubrir, hace cien años, el primer material superconductor. A  $-269^{\circ}\text{C}$ , la resistencia eléctrica del mercurio desaparecía y entraba en escena un nuevo comportamiento de la materia: la superconductividad. La singularidad de estos materiales hace que puedan transportar corrientes eléctricas sin resistencia, apantallar los campos magnéticos o comportarse como imanes permanentes. Sus aplicaciones van de la energía a la electrónica o la medicina. **TEXTO LUIS ALBERTO ANGUREL, AGUSTÍN CAMÓN, ELENA MARTÍNEZ Y RAFAEL NAVARRO**



El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN utiliza grandes imanes con bobinas fabricadas con hilos superconductores. CERN

**> NO TAN RARO** ¿Ha utilizado alguna vez un material superconductor? No se precipite a la hora de contestar. Puede que no se haya dado cuenta, pero si le han hecho una resonancia en un hospital, los ha necesitado.

Las imágenes del cuerpo humano por resonancia magnética nuclear son una de las herramientas de diagnóstico más potentes con las que cuentan los médicos para detectar posibles anomalías en

nuestro cuerpo. Cada año, más de 100 millones de pacientes se someten a una resonancia en las 30.000 instalaciones repartidas por todo el mundo. Este logro de la medicina moderna es posible gracias a la generación de campos magnéticos elevados y homogéneos que solo se pueden obtener con bobinas fabricadas con hilos superconductores enfriados hasta temperaturas que pueden llegar a ser de  $-269^{\circ}\text{C}$ .

Pero, ¿qué son los materiales superconductores? Los llamó así Kamerlingh Onnes, su descubridor, por su capacidad para transportar corrientes eléctricas sin resistencia por debajo de una temperatura crítica. Sin embargo, también poseer otra propiedad muy sorprendente, impiden que el campo magnético penetre en su interior (efecto Meissner) ya que, al aplicarlo, aparecen corrientes eléctricas superficiales que lo

apantallan. Algunos de ellos, al enfriarse en presencia de un campo magnético, lo retienen en su interior y, al retirarlo, se comportan como imanes permanentes. Estos materiales manifiestan a escala kilométrica propiedades cuánticas propias de átomos y moléculas.

En la actualidad, sabemos que más de 61 elementos puros de la tabla periódica son superconductores en condiciones adecua-

das, así como miles de compuestos (aleaciones, materiales inorgánicos, cerámicas y plásticos). Incluso el ADN extraído de nuestras células presenta este comportamiento. Pero, de todos ellos, apenas una decena tiene interés tecnológico. Uno de los mayores inconvenientes es que las propiedades superconductoras solo se manifiestan a muy bajas temperaturas, en el mejor de los casos inferiores a  $-104^{\circ}\text{C}$ .

Los avances recientes en las técnicas de refrigeración y la variedad de materiales disponibles están propiciando la aparición de un número creciente de aplicaciones en áreas que van desde la producción y distribución de energía eléctrica al desarrollo de la computación cuántica.

LOS AUTORES PERTENECEN AL INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE ARAGÓN (ICMA)

## ANIVERSARIO EN SOCIEDAD

La sociedad aragonesa tendrá oportunidad de acercarse a los materiales superconductores a través del ciclo 'Cien años de superconductividad', organizado por el ICMA con el apoyo de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Todas las actividades serán en Ibercaja Zentrum:

- 'Centenario de la superconductividad: el mundo cuántico a escala kilométrica'. Del 25 de octubre al 18 de noviembre.
- Taller para profesores '¿Cómo introducir los materiales superconductores en el aula?'. El día 25, a las 18.00.
- Presentación de la aplicación pedagógica 'Superconductores a tu alrededor', desarrollada por el Laboratorio Virtual Ibercaja. Día 25, a las 19.00.
- Talleres para escolares (previa inscripción) y público en general (27 de octubre, 3, 10 y 17 de noviembre, a las 18.00).
- Ciclo de conferencias en noviembre.

## ¿DÓNDE ESTÁN LOS MATERIALES SUPERCONDUCTORES? ¿PARA QUÉ SE UTILIZAN?

**GENERACIÓN Y CONDUCCIÓN DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA CON MUY BAJAS PÉRDIDAS** Los materiales superconductores permiten transportar corrientes eléctricas con pérdidas de energía muy inferiores a los metales convencionales. Por ello, los cables superconductores permiten transportar energía eléctrica con secciones mucho más pequeñas; son una respuesta posible al aumento de la demanda eléctrica en lugares ya saturados y desde 2006 ya se han instalado varios prototipos en la red, refrigerados con nitrógeno líquido. Además se están desarrollando motores y generadores cuyo peso puede reducirse dos tercios en comparación con el sistema equivalente fabricado con conductores de cobre. En el año 2017, el proyecto Tres Amigas conectará las redes eléctricas AC de Estados Unidos (Este, Oeste y Texas) en Clovis mediante un cable superconductor DC de 6,4 kilómetros para intercambiar potencias máximas de 5.000 MW.



Cable superconductor trifásico construido por Sumitomo. En cada fase se observan las capas de cintas superconductoras bobinadas helicoidalmente sobre un núcleo de cobre. El conjunto de las tres fases se encuentra en el interior del criostato por donde circulará el nitrógeno líquido necesario para enfriar el cable.

SUPERPOWER, INC.

**PRODUCCIÓN DE GRANDES CAMPOS MAGNÉTICOS** Por un hilo superconductor de diámetro inferior a un milímetro pueden circular cientos de amperios sin que aparezca resistencia eléctrica, lo que permite construir bobinas para generar campos magnéticos muy intensos, que pueden llegar a valores cercanos a medio millón de veces el campo magnético terrestre. Así son las bobinas utilizadas en los equipos de resonancia magnética que se usan en los hospitales o los grandes imanes de los laboratorios científicos como los del acelerador de partículas LHC que el CERN ha construido en Ginebra.



Equipo de resonancia magnética. HERALDO



El vehículo Supratrans levita sobre imanes permanentes. EVICO GMBH/IFW DRESDEN

**SISTEMAS DE TRANSPORTE** La posibilidad de generar altos campos magnéticos con bobinas superconductoras se ha utilizado en Japón para hacer levitar un tren de pasajeros con el que es posible alcanzar velocidades de hasta 581 km/h, ya que se elimina toda la fricción con la vía. La compañía ferroviaria japonesa acaba de anunciar que va a instalar la primera línea comercial

**RESUMEN  
PARA LECTORES  
CON PRISA**

■ Hace cien años, la investigación en bajas temperaturas deparaba una sorpresa: la aparición de un fenómeno desconocido.

■ Kamerlingh Onnes descubrió que, cerca del cero absoluto, la resistencia eléctrica de algunos materiales desaparece.

■ La superconductividad evita pérdidas de energía o genera grandes campos magnéticos para diagnóstico médico.

■ Los investigadores sueñan con disponer de materiales superconductores a temperatura ambiente en este siglo.

**EL FENÓMENO QUE VINO DEL FRÍO**

**HISTORIA** A finales del siglo XIX, dos físicos europeos, James Dewar y Heike Kamerlingh Onnes, competían para licuar el último de los llamados gases permanentes, el hidrógeno. En 1898, por fin hubo un ganador: James Dewar lo licuó por primera vez y consiguió el récord de  $-252^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, al descubrirse en la Tierra las primeras trazas de un nuevo gas, la historia dio una segunda oportunidad a Onnes. En 1908 consiguió licuar helio a una temperatura de  $-269^{\circ}\text{C}$ , solo 4,2 grados por encima del cero absoluto. Gracias a su proeza, tuvo acceso a temperaturas que nadie había alcanzado hasta entonces y dedicó su laboratorio de la Universidad de Leiden (Holanda) a la medida de todo tipo de propiedades de la materia en este rango de temperaturas, lo que condujo a la aparición de nuevos fenómenos físicos desconocidos.

Mediando la resistencia eléctrica del oro y del platino, Onnes observó que decrecía hasta alcanzar un valor constante que dependía de las impurezas de los hilos que utilizaba. Buscando un material más puro, eligió el mercurio porque a temperatura ambiente es líquido y se puede purificar. El 8 de abril de 1911, hace cien años, anotó en su cuaderno de laboratorio que, a  $-269^{\circ}\text{C}$ , su resistencia eléctrica desaparecía. Acababa de descubrir una nueva fase de la materia, el estado superconductor, pero solo fue consciente de ello cuando observó ese mismo comportamiento en hilos de estaño y plomo por debajo de ciertas temperaturas características. Gracias a su labor en la investigación a bajas temperaturas, obtuvo el premio Nobel de Física en 1913.

Inicialmente, le sorprendió que la superconductividad apareciera solo en los metales que eran malos conductores y no se observara en los buenos como el oro, cobre o plata. Empezando por metales puros y siguiendo por sus aleaciones, durante 75 años se creyó que únicamente los metales podían ser superconductores.

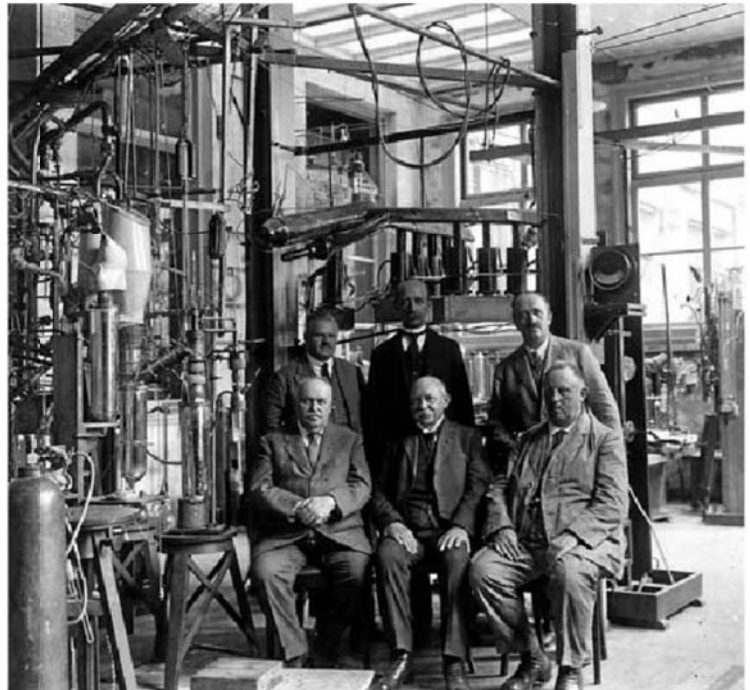
Nadie esperaba encontrar superconductividad en materiales cerámicos y menos con temperaturas críticas diez veces superiores; y cuando, en 1986, Bednorz y Muller lo hicieron en cerámicas basadas en óxidos de cobre, se revolucionó el campo. Rápidamente se encontraron materiales capaces de trabajar a temperaturas superiores a la de ebullición del nitrógeno líquido ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), lo que permite enfriarlos con mucha más facilidad y economía. Estos dos científicos también recibieron el Nobel en 1987.

**UNA CARRERA CONTRA EL TERMÓMETRO** Pronto empezó una carrera por conseguir superconductividad a temperaturas más altas. Desde entonces se han descubierto miles de materiales con este comportamiento, pero este avance se ha producido con saltos cualitativos y fortuitos que han supuesto un gran reto no exento de sorpresas.

En 2001, Akimitsu dio la campanada al encontrar durante una investigación rutinaria que el boruro de magnesio era superconductor a  $-234^{\circ}\text{C}$ . Este compuesto comercial se hallaba en los estantes de muchos laboratorios químicos, pero hasta ese momento no se había medido a esas temperaturas. Hoy concita un alto interés tecnológico.

El magnetismo del hierro inhibe la aparición de superconductividad y no se conocían superconductores en cuya composición apareciera este elemento. Este tabú cayó en 2008 cuando Hosono encontró que arseniuros de hierro eran superconductores con temperaturas críticas por debajo de  $-217^{\circ}\text{C}$ , lo que abrió una nueva familia de compuestos.

Tras cien años y una ingente investigación con la participación de algunas de las mentes más brillantes del siglo XX, el origen de la superconductividad en algunos materiales sigue sin tener respuesta. Sin duda, a lo largo del XXI podemos esperar nuevas sorpresas y soñar con superconductores a temperatura ambiente.



Kamerlingh Onnes (sentado en el centro) junto a los miembros de su equipo técnico, en el laboratorio de bajas temperaturas de Leiden. AIP EMILIO SEGRE VISUAL ARCHIVES

**INVESTIGACIÓN ARAGONESA**

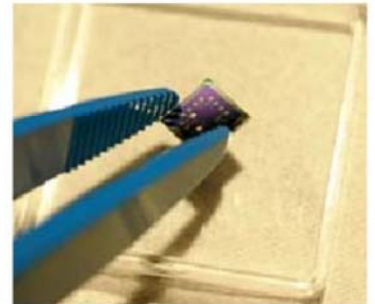
**DESDE EL ICMA** Desde 1987, el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA, centro mixto CSIC-Universidad de Zaragoza) está trabajando en el desarrollo y caracterización de materiales superconductores para aplicaciones eléctricas de potencia. En esta línea de trabajo, se ha colaborado con diversas empresas para el desarrollo de sistemas y dispositivos basados en estos materiales.

En 1991, el ICMA, en colaboración con grupos de investigación del Cedex y la empresa Antec, diseñó, fabricó y puso en funcionamiento la primera bobina superconductora solenoidal fabricada en España. Con ella se generó un campo magnético superior a 10 Tesla (200.000 veces el campo magnético terrestre).

Dentro de las líneas de fabricación de materiales, se ha utilizado la tecnología láser para mejorar las propiedades de materiales superconductores de alta temperatura. Antec los utilizó para presentar un prototipo de barra de alimentación de 600 amperios a los concursos internacionales que convocó el CERN durante las etapas de diseño del LHC, siendo capaces de cumplir con todos los requerimientos que solicitaba el CERN.

Actualmente se está colaborando con empresas del sector eólico, dentro del proyecto Azimut, para analizar las posibilidades de introducir la tecnología superconductora en las próximas generaciones de aerogeneradores, capaces de producir potencias varias veces superiores a las de los sistemas actuales.

**METROLOGÍA** El ICMA ha desarrollado un patrón de voltaje basado en el efecto Josephson, que aparece en uniones débiles entre dos su-



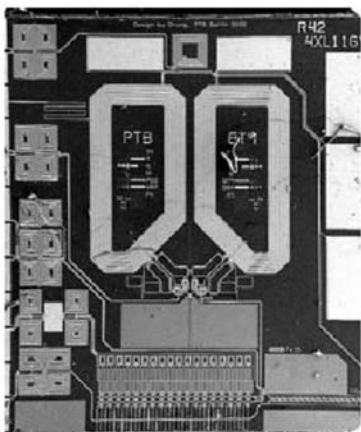
Sensor superconductor para detectar rayos X desarrollado por el ICMA y otros laboratorios europeos.

perconductores. Con dicho patrón se mejora mil veces la precisión de los patrones anteriores. Posteriormente se realizó también un patrón de resistencia basado en el efecto Hall cuántico que utilizaba una bobina superconductora y un comparador criogénico de corriente fabricado con detectores SQUID de campo magnético.

**SENSORES PARA LA ESA** En la actualidad, se está trabajando en el desarrollo de nuevos detectores de rayos X basados en superconductores. Una de sus posibles aplicaciones serán los nuevos telescopios que la Agencia Espacial Europea piensa poner en órbita en el futuro. Con pequeñas modificaciones, estos mismos detectores servirán también para detectar radiación infrarroja.

basada en este tipo de trenes. Unirá Tokio con Osaka, a 570 kilómetros, en tan solo 70 minutos y se espera que entre en funcionamiento en 2025. Otra alternativa es utilizar la capacidad de los materiales superconductores para atrapar el flujo magnético. Ello permite conseguir situaciones de levitación muy estable para mantener y desplazar grandes masas suspendidas en el aire. Grupos alemanes, brasileños y chinos usan esta tecnología para construir prototipos que se desplazan levitando sobre una vía fabricada con imanes permanentes. Es el caso del vehículo Supratrans, diseñado por Evico GmbH y el instituto IFW de Dresden (Alemania).

**DISEÑO DE NUEVOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS** También se utilizan materiales superconductores en diferentes dispositivos electrónicos. Unos de los más comunes son los SQUID, que son capaces de detectar in situ campos magnéticos tan pequeños como los creados por las neuronas del cerebro en su actividad. Ya se han comenzado a utilizar para obtener magneto-encefalogramas. También se utilizan para realizar estudios geológicos o en instrumentos científicos de precisión.



Detalle de un dispositivo electrónico SQUID.