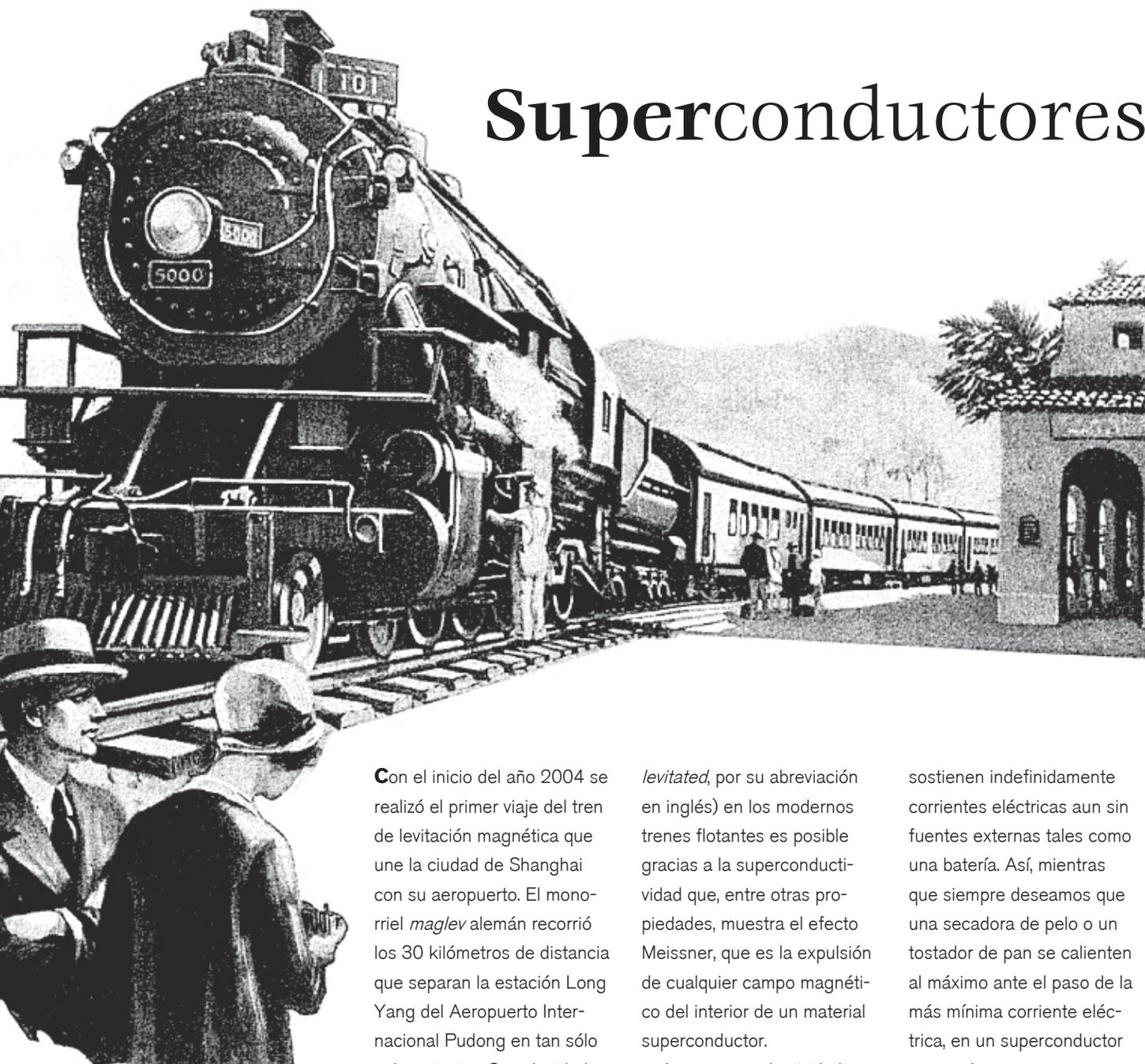


# Superconductores



Con el inicio del año 2004 se realizó el primer viaje del tren de levitación magnética que une la ciudad de Shanghai con su aeropuerto. El monorriel *maglev* alemán recorrió los 30 kilómetros de distancia que separan la estación Long Yang del Aeropuerto Internacional Pudong en tan sólo ocho minutos. Su velocidad máxima es de 450 kilómetros por hora. Un año antes, se terminó la construcción del tren *maglev* experimental japonés, llamado el Yamanashi, que alcanza una velocidad máxima de 552 kilómetros por hora. La levitación magnética o *maglev* (*magnetically*

*levitated*, por su abreviación en inglés) en los modernos trenes flotantes es posible gracias a la superconductividad que, entre otras propiedades, muestra el efecto Meissner, que es la expulsión de cualquier campo magnético del interior de un material superconductor.

La superconductividad es un fenómeno físico que se manifiesta como la pérdida repentina de la resistencia eléctrica al enfriarse por debajo de una temperatura llamada crítica,  $T_c$ . Al no tener resistencia, estos materiales no sufren pérdidas de energía en forma de calor, por lo que

sostienen indefinidamente corrientes eléctricas aun sin fuentes externas tales como una batería. Así, mientras que siempre deseamos que una secadora de pelo o un tostador de pan se calienten al máximo ante el paso de la más mínima corriente eléctrica, en un superconductor aprovechamos que no se calienta.

Con el descubrimiento en 1986 de los superconductores cupratos se inició una carrera caracterizada por una rápida subida de los valores de  $T_c$  que rebasó en 1987 la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido (77 grados

# de alta temperatura algunas aplicaciones

kelvin, °K) y que fue el primer superconductor verdadero de alta temperatura. Sin embargo, la  $T_c$  más alta conseguida hasta la fecha es de apenas 164 °K, o bien de menos 109 Celsius, °C. De modo que aún deben utilizarse costosos y complicados sistemas de refrigeración con base en helio o nitrógeno líquidos para mantener el superconductor a esa bajísima temperatura de operación. No obstante, persiste el ideal de encontrar este fenómeno a temperaturas ambiente -300 °K, o 27 °C— lo que permitiría usar el agua como refrigerante. Esa búsqueda frenética no es banal ya que bien se sabe que al descubrirse superconductores con temperaturas críticas ambientales, las aplicaciones superarían a las simplemente experimentales o los costosísimos prototipos de proyectos; es decir, se volverían comerciales.

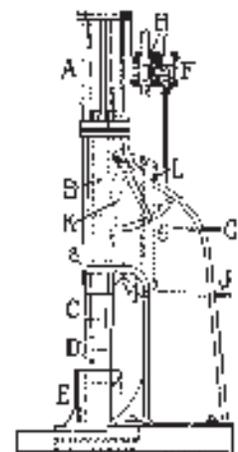
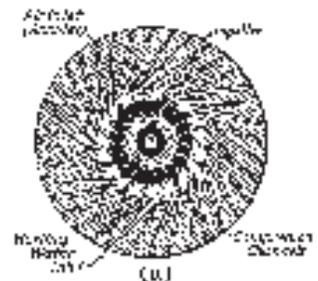
Actualmente, aunque sólo se han realizado muy pocas aplicaciones utilizando superconductores cuyas  $T_c$  no rebasan 23 °K, las posibles

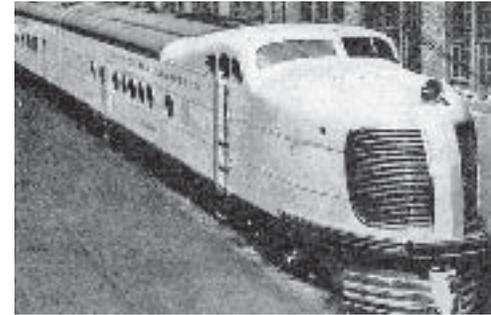
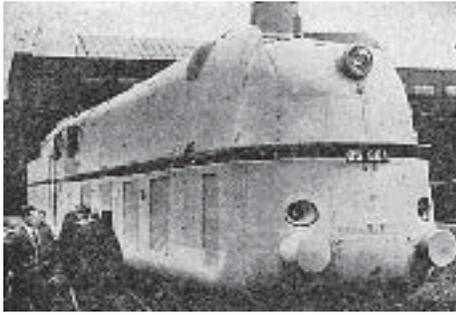
aplicaciones de los superconductores de alta temperatura crítica harían factibles verdaderas revoluciones en diversas industrias.

En la industria médica posibilitaría la construcción de escáneres de tomografías médicas portátiles y de bajo costo; por ejemplo, de resonancia magnética nuclear (MRI, por sus siglas del inglés). Actualmente, una sola imagen MRI completa del cuerpo humano llega a costar en México alrededor de 20 mil pesos. En la industria de los equipos de cómputo podrían fabricarse supercomputadoras ultrarrápidas del tamaño de una caja de zapatos que realizarían un *teraflop* (un millón de millones, o  $10^{12}$ ) de operaciones por segundo. O semiconductores mil veces más rápidos y mil veces menos "calientes". También impactaría en el procesamiento de imágenes digitales para fábricas automatizadas, sistemas de seguridad, búsqueda de huellas digitales idénticas, editoras de escritorio, análisis de movimientos, etcétera.

En los transportes terrestres, además de los trenes *maglev*, podrían construirse coches eléctricos baratos y potentes que no contaminen o generadores superconductores en embarcaciones que reemplacen los gigantes ejes de transmisión mecánicos actuales. Mientras que en la industria espacial los superconductores de alta temperatura contribuirían a que el lanzamiento de cohetes sea mucho más efectivo, además de permitir construir cohetes que requieran mucho menos combustible, capaces de llevar cargas mayores.

Por su parte, la generación, almacenamiento y transmisión de energía eléctrica también se beneficiaría del desarrollo de estos superconductores. Se podría generar energía limpia, barata y abundante a partir de las fusiones nucleares de diversos isótopos de hidrógeno producidas gracias a campos magnéticos muy intensos, lo cual permitiría multiplicar la potencia eléctrica producida actualmente por generadores





convencionales. También podrían crearse “botellas” magnéticas que almacenen energía eléctrica indefinidamente para utilizarse en horas de mayor consumo; líneas de transmisión superconductoras que transmitan corriente sin pérdidas de energía —las pérdidas actuales son de 20%—, o nuevos tipos de baterías recargables que almacenen enormes energías. Aunado a ello, se obtendría una densidad de corriente —la cantidad de corriente eléctrica capaz de transmitirse por unidad de área transversal del superconductor— mil veces mayor que la de un cableado doméstico de cobre y se construirían estaciones hidroeléctricas que envíen la energía a miles de kilómetros de distancia sin pérdidas por resistencia eléctrica. Habría electrodomésticos de bajo consumo de energía, motores superconductores que no

requieran recargarse o generadores eléctricos diez veces más pequeños.

A todas estas aplicaciones potenciales se puede agregar: la construcción de aceleradores más pequeños de partículas elementales; sistemas magnéticos para extraer impurezas del agua, del carbón, del barro y de muchas otras sustancias; sensores que midan las pequeñísimas variaciones del campo magnético terrestre para localizar depósitos de petróleo y de minerales, o aparatos mecánicos sin fricción.

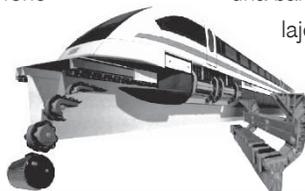
### Premios Nobel

Desde que Heike Kamerlingh Onnes descubrió en 1911 la superconductividad en una muestra de mercurio con una  $T_c$  de 4.2 °K, lo novedoso y la riqueza de los fenómenos físicos microscópicos

con los que está asociada, así como las expectativas de sus múltiples aplicaciones, la han convertido en una de las ramas de la física más prolífera en el último siglo, como lo prueban los numerosos premios Nobel de física que, directa o indirectamente, ha generado. Onnes lo recibió en 1913 “por sus investigaciones sobre propiedades de la materia a bajas temperaturas, que lo llevaron, entre otras cosas, a la producción del helio líquido”, en palabras del comité; en 1972 J. Bardeen, L. N. Cooper y J. R. Schrieffer lo obtuvieron “por desarrollar conjuntamente la teoría de la superconductividad conocida comúnmente como la teoría BCS”; en 1973 lo ganó B. D. Josephson “por sus predicciones teóricas de las propiedades de una supercorriente a través de una barrera de tunelaje, en especial de aquellos

fenómenos conocidos como efectos de Josephson”, junto con L. Esaki e I. Giaever que compartieron este premio “por sus descubrimientos experimentales en fenómenos de tunelaje en semiconductores y superconductores, respectivamente”; en 1987 K. A. Müller y J. G. Bednorz lo ganaron “por el importante avance del descubrimiento de superconductividad en materiales cerámicos” y, por último, en 2003 se lo otorgaron a A. A. Abrikosov, V. L. Ginzburg y A. J. Leggett “por sus contribuciones pioneras a la teoría de la superconductividad y superfluidez”.

Es muy probable que quienes descubran experimentalmente el superconductor a temperatura ambiente, o describan teóricamente el proceso microscópico cuántico causante de la superconductividad de alta  $T_c$  serán fuertes candidatos para ganar un futuro premio Nobel de física. 🧠



**Manuel de Llano**  
Instituto de Investigaciones en Materiales,  
**Miguel Ángel Solís**  
Instituto de Física,  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
**Susana Ramírez**  
Departamento de Física,  
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ho-Kim, Q., N. Kumar y C. S. Lam 2004. “Invitation to Contemporary Physics”, en *World Scientific*, Singapur (2ª ed.).  
Chu, P. C. W. 1995. “High-Temperature Superconductors”, en *Scientific American*, núm. 273, p. 162.  
Cornell, E. A. & C. E. Wieman 1998. “The Bose-Einstein Condensation”, en *Scientific American*, núm. 278, p. 40.

### REFERENCIAS DE LA RED

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/scapp.html>  
<http://www.superconductors.org>

### IMÁGENES

Tipos y prototipos de trenes y viñetas de partes mecánicas, siglo XX.