

# Los superconductores

FISICA

LUIS FERNANDO  
MAGAÑA SOLÍS



# LOS SUPERCONDUCTORES



## La Ciencia para Todos

Desde el nacimiento de la colección de divulgación científica del Fondo de Cultura Económica en 1986, ésta ha mantenido un ritmo siempre ascendente que ha superado las aspiraciones de las personas e instituciones que la hicieron posible. Los científicos siempre han aportado material, con lo que han sumado a su trabajo la incursión en un campo nuevo: escribir de modo que los temas más complejos y casi inaccesibles puedan ser entendidos por los estudiantes y los lectores sin formación científica.

A los diez años de este fructífero trabajo se dio un paso adelante, que consistió en abrir la colección a los creadores de la ciencia que se piensa y crea en todos los ámbitos de la lengua española —y ahora también del portugués—, razón por la cual tomó el nombre de La Ciencia para Todos.

Del Río Bravo al Cabo de Hornos y, a través de la mar océano, a la Península Ibérica, está en marcha un ejército integrado por un vasto número de investigadores, científicos y técnicos, que extienden sus actividades por todos los campos de la ciencia moderna, la cual se encuentra en plena revolución y continuamente va cambiando nuestra forma de pensar y observar cuanto nos rodea.

La internacionalización de La Ciencia para Todos no es sólo en extensión sino en profundidad. Es necesario pensar una ciencia en nuestros idiomas que, de acuerdo con nuestra tradición humanista, crezca sin olvidar al hombre, que es, en última instancia, su fin. Y, en consecuencia, su propósito principal es poner el pensamiento científico en manos de nuestros jóvenes, quienes, al llegar su turno, crearán una ciencia que, sin desdeñar a ninguna otra, lleve la impronta de nuestros pueblos.

## Comité de selección de obras

Dr. Antonio Alonso

Dr. Francisco Bolívar Zapata

Dr. Javier Bracho

Dr. Juan Luis Cifuentes

Dra. Rosalinda Contreras

Dra. Julieta Fierro

Dr. Jorge Flores Valdés

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Leopoldo García-Colín Scherer

Dr. Adolfo Guzmán Arenas

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Jaime Martuscelli

Dra. Isaura Meza

Dr. José Luis Morán López

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. José Antonio de la Peña

Dr. Ruy Pérez Tamayo

Dr. Julio Rubio Oca

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Dr. Elías Trabulse

Luis Fernando Magaña Solís

---

# LOS SUPERCONDUCTORES



la  
**ciencia/64**  
para todos

Primera edición (La Ciencia desde México), 1988  
Segunda edición (La Ciencia para Todos), 1997  
Tercera edición, 2003  
Cuarta edición, 2012

---

Magaña Solís, Luis Fernando

Los superconductores / Luis Fernando Magaña Solís ; — 4ª ed. — México : FCE, SEP, Conacyt, 2012

166 p. ; 21 × 14 cm — (Colec. La Ciencia para Todos ; 64)

Texto para nivel medio y medio superior

ISBN 978-607-16-0933-5

1. Superconductividad 2. Física 3. Divulgación científica I. Ser. II t.

LC QC612.S8

Dewey 508.2 C569 V.64

---

### *Distribución mundial*

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Diseño de portada: Paola Álvarez Baldit

D. R. © 1988, Fondo de Cultura Económica  
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.  
Empresa certificada ISO 9001:2008

Comentarios: [editorial@fondodeculturaeconomica.com](mailto:editorial@fondodeculturaeconomica.com)  
[www.fondodeculturaeconomica.com](http://www.fondodeculturaeconomica.com)  
Tel. (55) 5227-4672; fax (55) 5227-4640

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-607-16-0933-5

Impreso en México • *Printed in Mexico*

<i>Agradecimientos</i> . . . . .	13
<i>Prólogo a la segunda edición, Octavio Novaro Peñalosa</i> . .	15
<i>Prólogo a la primera edición, Miguel José Yacamán</i> . . . .	17
<i>Prefacio</i> . . . . .	21
I. <i>Qué es la superconductividad</i> . . . . .	27
Historia . . . . .	27
Los materiales superconductores . . . . .	32
Diferencias entre superconductores . . . . .	37
II. <i>Los superconductores ideales o tipo I</i> . . . . .	42
El campo magnético crítico . . . . .	42
La energía de la transición . . . . .	44
El desorden . . . . .	46
El calor específico . . . . .	48
Los iones y la transición . . . . .	49
Superelectrones . . . . .	49
Electrones que se atraen . . . . .	51
El estado intermedio . . . . .	64
El hidrógeno metálico . . . . .	67
Los acoplamientos . . . . .	69
Materiales que son superconductores a altas presiones . . . . .	71

III. <i>Los superconductores duros o tipo II</i> . . . . .	73
El estado mixto . . . . .	73
Cómo se magnetizan . . . . .	76
El efecto de proximidad . . . . .	79
Los nuevos materiales superconductores . . . . .	81
El efecto de proximidad gigante . . . . .	88
IV. <i>Los llamados superconductores exóticos</i>	
<i>o atípicos</i> . . . . .	91
Los fulerenos . . . . .	91
Los superconductores orgánicos . . . . .	92
Los borocarburos . . . . .	93
Los superconductores de fermiones pesados . . . . .	94
El superconductor con transición de fase	
de cuarto orden . . . . .	95
El sistema tungsteno-bronce . . . . .	96
El diboro de magnesio . . . . .	96
El caso de los ultraconductores . . . . .	97
El curioso caso del compuesto de plutonio . . . . .	98
V. <i>Algunas aplicaciones de la superconductividad</i> . . . . .	100
Algunas aplicaciones de los electroimanes	
superconductores . . . . .	102
Sistemas inductivos de almacenamiento	
de energía . . . . .	108
Algunas nociones sobre cables	
superconductores . . . . .	109
Algunas aplicaciones en la electrónica . . . . .	113
Los primeros transistores superconductores . . . . .	119
VI. <i>La superconductividad en imágenes</i> . . . . .	122
VII. <i>Premios Nobel de Física relacionados</i>	
<i>con la superconductividad</i> . . . . .	151
Heike Kamerlingh Onnes . . . . .	151

John Bardeen . . . . .	152
Leon Cooper . . . . .	154
John Robert Schrieffer . . . . .	155
Brian Josephson . . . . .	156
Alex Müller . . . . .	157
Georg Bednorz . . . . .	158
Alexei Abrikosov . . . . .	159
Vitaly Ginzburg . . . . .	160
Anthony Leggett . . . . .	161
<i>Bibliografía recomendada . . . . .</i>	<i>165</i>



*A la memoria de Facundo, mi padre*

*A Lili, mi madre*

*A Carolina, Rodrigo y Facundo, mis hijos*

*A Carolina, Ernesto y Paulina, mis nietos*

*A Alicia, mi esposa*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al doctor José Reyes por su colaboración para obtener, en el microscopio electrónico, las imágenes de una cerámica superconductora para la portada de la primera edición. Al físico Lorenzo Juárez por su labor en el procesamiento digital de las imágenes del microscopio electrónico, que formaban parte de la portada de la primera edición. Al físico Javier Fuentes M. del IF-UNAM, por preparar la pastilla superconductora. Al señor Alfredo Sánchez por la realización de las fotografías de la portada y del interior del libro, tanto de la primera como de la segunda edición. Al cuerpo editorial del Fondo de Cultura Económica por su asistencia, siempre muy cálida y eficiente.

LUIS FERNANDO MAGAÑA SOLÍS  
*México, D. F., 2012*



A una década del *boom* causado por el descubrimiento de los superconductores de altas temperaturas (y aquí convendría aclarar que estamos hablando de temperaturas tan gélidas como  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo cual sin embargo eliminó el prejuicio de que la superconductividad sólo podría existir muy cerca del cero absoluto) hemos aprendido algunas lecciones importantes.

Una, que las teorías científicas tienen cada vez más corta duración, aun la famosísima y laureada de Bardeen, Cooper y Schrieffer no resultó aplicable a los nuevos superconductores. Otra, que, como la lechera, no debemos vender las aplicaciones tecnológicas de un nuevo descubrimiento científico hasta haberlo “ordeñado” exhaustivamente; el maravilloso mundo que nos prometía trenes flotantes sobre campos magnéticos producidos por superconductores no ha arribado... todavía. Una tercera lección es que no debemos nunca limitarnos a seguir los caminos lógicos e iluminados por la ortodoxia reinante para intentar nuevos descubrimientos. Recuerdo que a principios de los años ochenta asistí a un coloquio en Florida, EUA, que impartía Mathias (un profeta de la superconductividad en esa época). Le pregunté entonces acerca de experimentos en los que no usaban metales sino óxidos como superconductores. Mathias los descartó con una sonrisa. Esto me recordó una anécdota de un testigo presencial del regaño de Wolfgang Pauli a sus alumnos Uhlenbeck

y Goulsmidth cuando le anunciaron que iban a proponer el “absurdo” concepto de que el electrón tenía espín, o sea, un momento angular semientero. *Eppure...* el espín semientero de los componentes de la materia y los superconductores de alta temperatura se mueven. Y en el segundo caso estoy seguro de que se descubrirán nuevos superconductores y cambiarán la tecnología (y la economía) del próximo milenio. ¿Dónde aparecerán?; tal vez donde menos los esperamos. La única predicción segura en la ciencia es que sus avances continuarán siendo impredecibles.

Me hago estas consideraciones al leer la segunda edición del libro de Luis Fernando Magaña a casi un decenio de aparecida la primera. El libro, que fue el primero en español acerca de este tema, no ha perdido ninguna de sus cualidades y sigue siendo esencial para la bibliografía de difusión científica en nuestra lengua. Con la misma frescura, interés y amenidad que en la primera edición, Fernando Magaña combina dos cualidades: la del investigador original que contribuye al desarrollo de su disciplina y la del divulgador capaz de dialogar y atraer al público en general a un tema de alta complejidad técnica y científica. Lo consigue recurriendo a un estilo ameno y ligero, sin que esto signifique que se aleja del fondo real del tema. Si bien no es excepcional que un científico sea capaz de dialogar con personas ajenas a su disciplina y transmitir información útil en forma accesible, tampoco es del todo común. Esto requiere de dos cualidades que Fernando Magaña posee: la primera, conocer a fondo la materia, pues sólo puede presentar en forma correcta y sencilla un tema científico aquel que lo conoce en toda profundidad, y la segunda, el don de comunicar y presentar en forma atractiva los temas que desarrolla. *Los superconductores*, en su segunda edición, continuará ayudando y atrayendo a nuevas generaciones de jóvenes a este fascinante campo de estudio.

OCTAVIO NOVARO PEÑALOSA