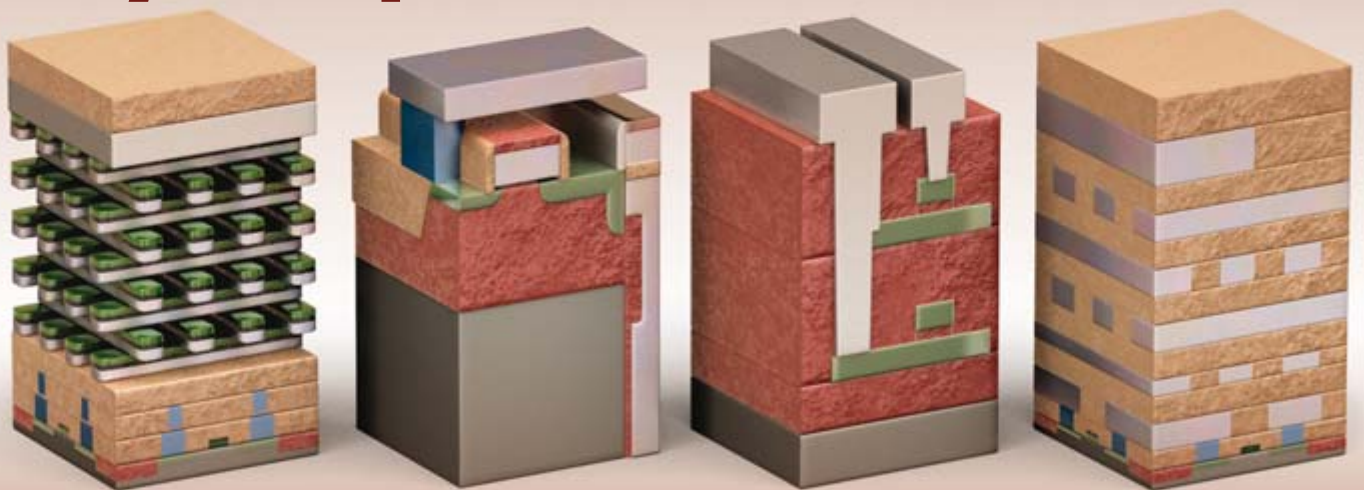


TEMAS 34

INVESTIGACION
y
CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

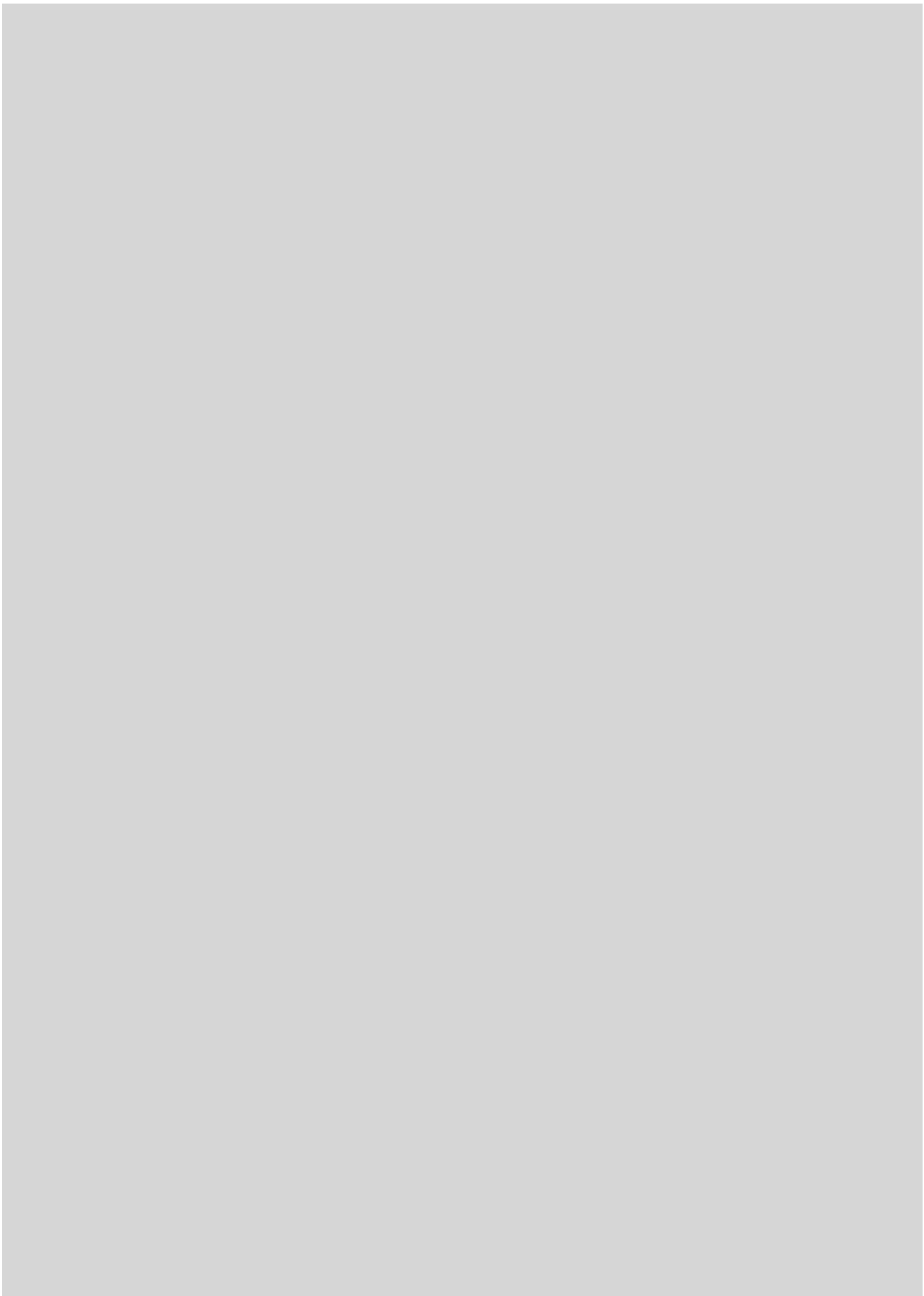
Semiconductores y superconductores

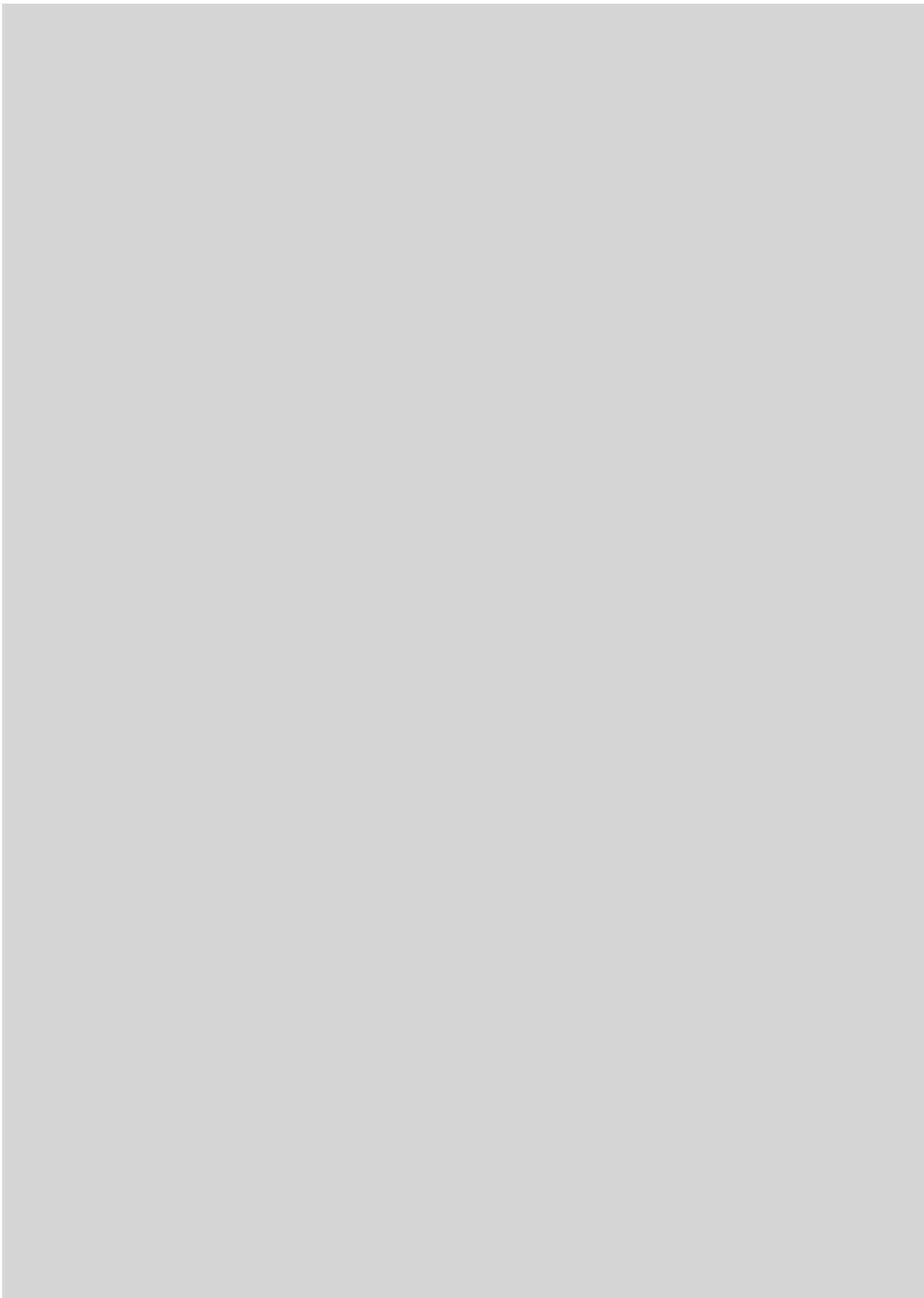


4º trimestre 2003



6,50 EURO





Sumario

SEMICONDUCTORES

- 4 Fabricación de un circuito integrado**
Craig R. Barrett

- 10 Transistores de arseniuro de galio**
William R. Frensley

- 18 Pararrayos en nanoelectrónica**
Steven H. Voldman

- 26 Microchips en vertical**
Thomas H. Lee

- 34 Espintrónica**
*David D. Awschalom,
Michael E. Flatté y Nitin Samarth*

- 42 Polarones magnéticos**
J. M. De Teresa Nogueras y M. R. Ibarra García

SUPERCONDUCTORES

- 52 Onnes y el descubrimiento de la superconductividad**
Rudolf de Bruyn Ouboter

- 58 Superconductores de alta temperatura**
Paul C. W. Chu

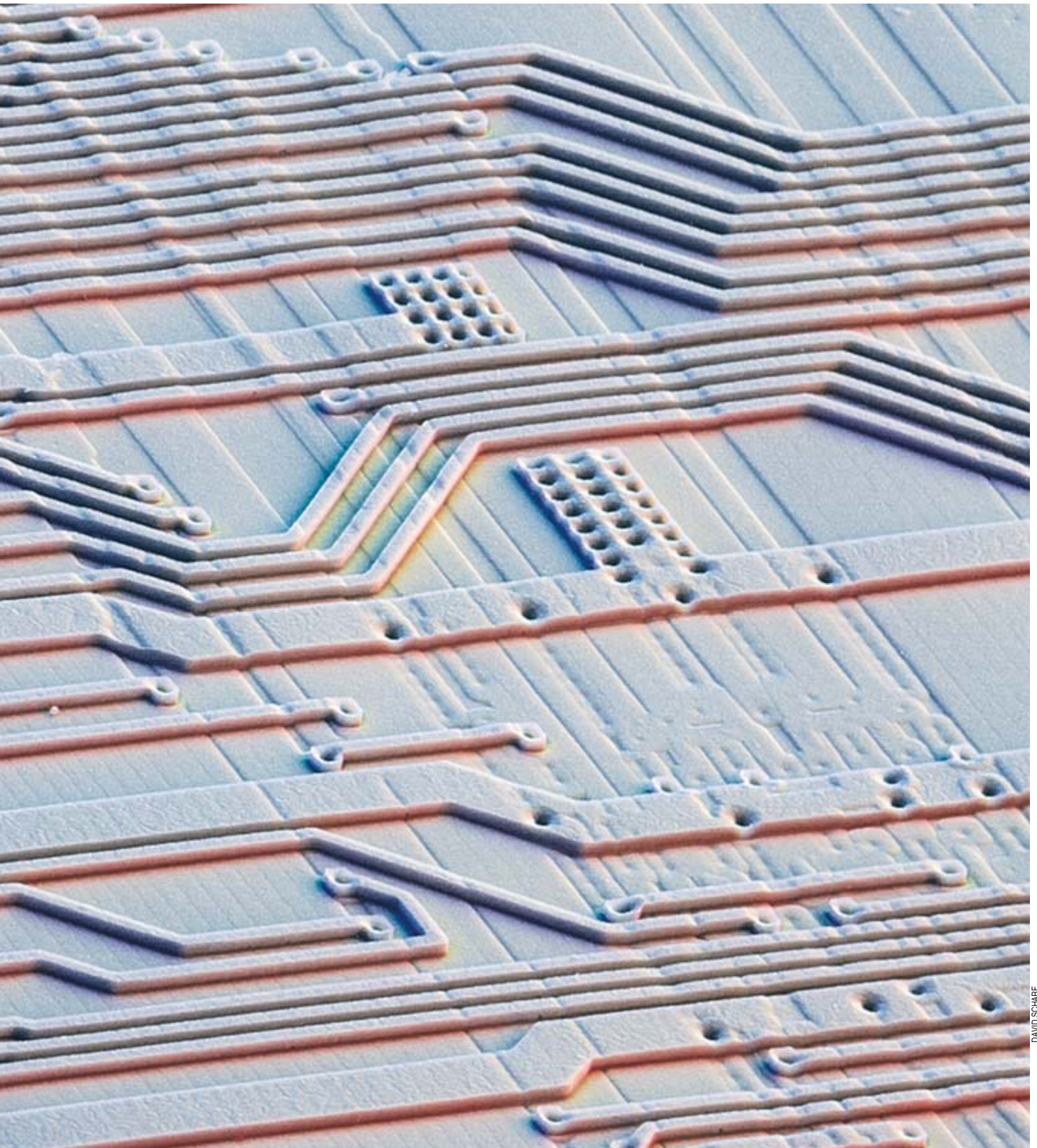
- 64 Superconductores de interferencia cuántica**
John Clarke

- 72 Resistencia de los superconductores de alta temperatura crítica**
*David J. Bishop, Peter L. Gammel
y David A. Huse*

- 80 Películas superconductoras**
Michel Laguès

- 88 Mecánica cuántica de los condensados de Bose-Einstein**
Arturo Polls, Jordi Boronat y Ferran Mazzanti

SEMICONDUCTORES



Fabricación de un circuito integrado

*No sería posible la técnica digital moderna sin los microcircuitos de silicio.
¿Cómo se fabrican esas miniaturas?*

Craig R. Barrett

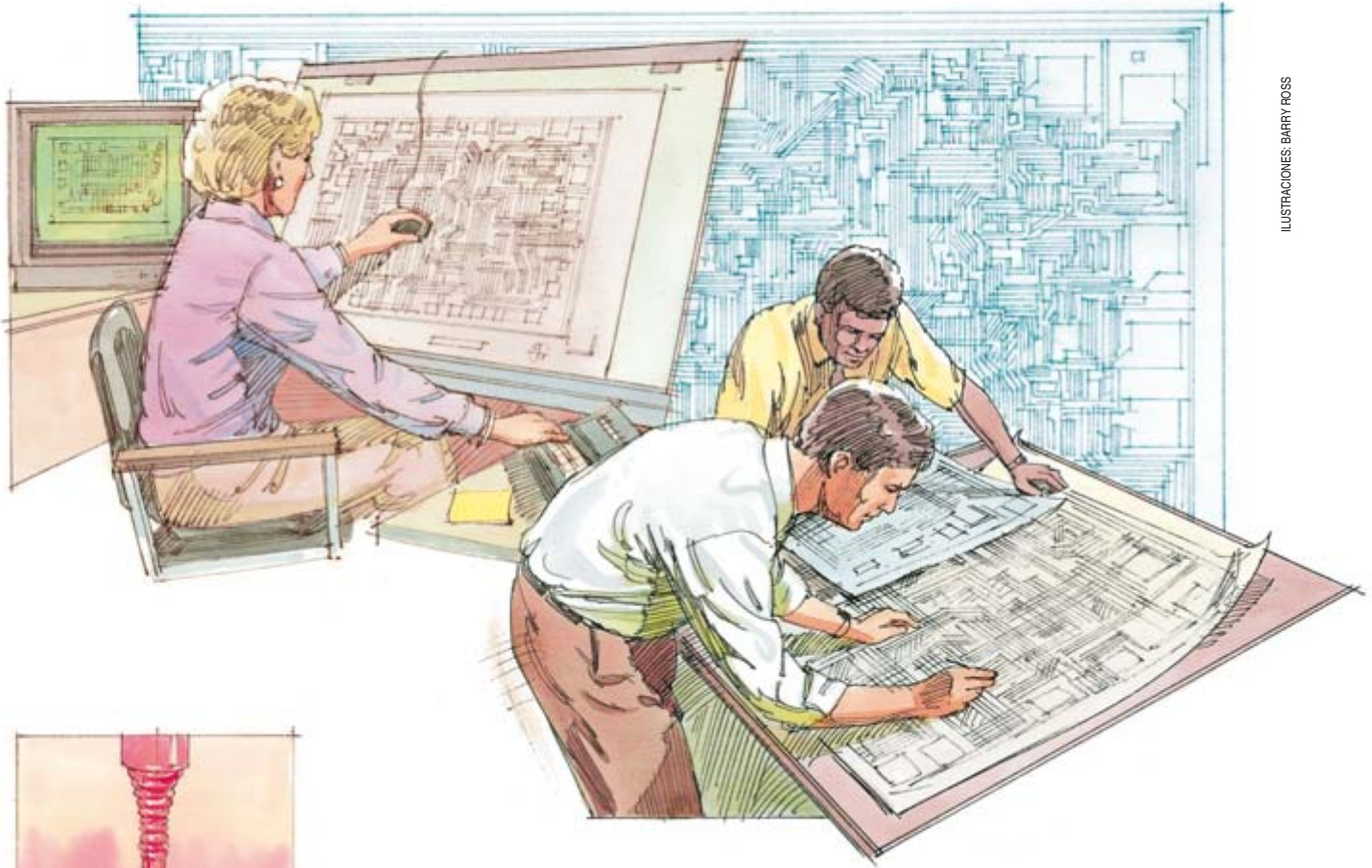
El dispositivo en que se fundamenta el mundo digital es el circuito integrado, un cuadrado diminuto de silicio que alberga millones de transistores. Se trata, probablemente, del artefacto más complejo jamás creado por los humanos. Aunque plano en apariencia, forma una estructura tridimensional, construida con parsimonia depositando sobre un sustrato de silicio finas películas de materiales que, ora conducen, ora aíslan, la electricidad. Estas películas, ensambladas según patrones elaborados de antemano con el mayor cuidado, forman los transistores, que funcionan como interruptores encargados de controlar el flujo de electricidad a través del circuito o “chip”. La apertura y cierre de estos interruptores permiten la manipulación del código binario subyacente a todo cuanto hace un ordenador.

La construcción de un chip requiere numerosos procesos fabriles, cuya realización exige semanas. Para que el microcircuito opere, la ejecución de cada paso ha de ser perfecta. Las condiciones son muy estrictas. Por ejemplo, dado que una mota de polvo puede echar a perder todo un chip, la fabricación ha de hacerse en una “sala blanca” que no contenga más de 30 partículas —de tamaño inferior a 1 micra— por metro cúbico de aire. Como referencia, en una de nuestras salas de estar se cuentan entre 3 y 30 millones de partículas por metro cúbico de aire. Gran parte del equipo necesario para la fabricación de microcircuitos hace uso de la técnica más avanzada, lo cual se traduce en que las factorías de circuitos integrados, en las instalaciones más modernas y perfectas, requieren inversiones astronómicas.

Una técnica fundamental en la fabricación de microcircuitos es el proceso “planar”, ideado en 1957 por Jean Hoerni, de Fairchild Semiconductor. El proceso planar proporcionaba un método para levantar una estructura estratificada sobre una base, o sustrato, de silicio. Dicha técnica fue crucial para el desarrollo del primer circuito integrado, creado por Robert N. Noyce, en 1958. (Más



tarde, Noyce sería cofundador, con Gordon E. Moore, de Intel Corporation, la compañía que inventó el microprocesador y se convirtió en principal proveedora de semiconductores.) La técnica planar tendía un puente que iba del transistor al circuito integrado, y abrió el camino para el proceso de manufactura de los microcircuitos actuales. Tal proceso requiere centenares de pasos, que cabe agrupar en unas cuantas operaciones básicas.

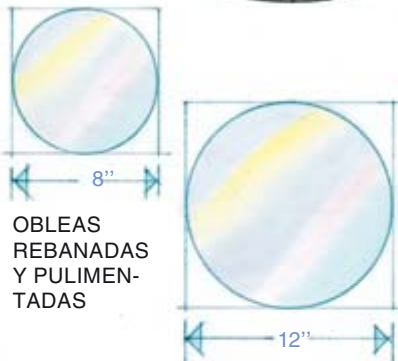


Diseño del microcircuito

La primera operación es el diseño del microcircuito. Cuando es preciso construir decenas de millones de transistores en un cuadrado de silicio que tiene el tamaño de la uña de un niño, la ubicación de los transistores y las interconexiones entre ellos ha de preverse con sumo detalle. Cada transistor ha de responder a la función asignada; cada combinación de grupos de transistores ha de crear inversores, sumadores, decodificadores u otros elementos circuitales. El proyectista no debe olvidar la finalidad prevista para el chip. Mientras que un microprocesador ha de encargarse de ejecutar las instrucciones en un ordenador, los chips de memoria tienen por misión almacenar datos. La estructura de ambos tipos de microcircuito difiere bastante. Debido a la complejidad de los chips actuales, el trabajo de diseño se realiza por ordenador, aunque los ingenieros repasan en copia ampliada el diagrama estructural del microcircuito.



LINGOTE DE SILICIO



OBLEAS REBANADAS Y PULIMEN-TADAS

El cristal de silicio

El material de base para la construcción de circuitos integrados es un cristal de silicio. El silicio, que es después del oxígeno el elemento más abundante en la corteza terrestre, constituye el principal ingrediente de la arena de las playas. Es un semiconductor natural, lo que significa que podemos trabajarlo y convertirlo en un aislante o en un conductor. Los aislantes, como el vidrio, impiden el paso de la electricidad; los conductores, como el cobre, permiten el paso de la electricidad a través de ellos. Para formar un cristal, el silicio en bruto obtenido de rocas cuarcíferas se somete a un tratamiento con productos químicos que eliminan las impurezas, hasta lograr un material que es silicio casi al 100 por cien. Con este silicio purificado, fundido, se forman cristales cilíndricos o lingotes. Los lingotes son rebanados en obleas, del orden de décimas de milímetro. En un proceso de "planarización", se pulimentan las obleas con una lechada abrasiva hasta lograr una superficie impecable y lisa, como un espejo. El diámetro de las obleas es de unos 300 mm. El aumento de la oblea, al permitir fabricar de una vez un número mayor de microcircuitos, abarata los costes.

Los primeros estratos

Preparada la oblea, comienza la construcción de los circuitos en el chip. La producción de los transistores y de sus interconexiones requiere cierto número de pasos fundamentales, que han de repetirse muchas veces. Los microcircuitos complejos constan de 20 estratos o más, y pueden exigir varios centenares de pasos distintos para ir construyendo los estratos uno por uno.

La primera capa es de dióxido de silicio, material que no conduce la electricidad y actúa, por consiguiente, de aislante. Para crearla, las obleas se introducen en un horno de difusión (*arriba, a la derecha*) que es, en esencia, un horno de alta temperatura donde debe desarrollarse una película de óxido sobre la superficie de la oblea.

La oblea, retirada del horno, se encuentra lista para el primer paso de configuración fotolitográfica. Se aplica a la superficie una capa de un líquido polimérico viscoso y sensible a la luz ("fotorresistivo") que se torna soluble al someterlo a radiación ultravioleta. Una cánula deposita una cantidad preestablecida de polímero sobre la superficie de la oblea (*abajo*). Se la obliga a girar con rapidez, para que la fuerza centrífuga extienda uniformemente el líquido sobre la superficie. Esta operación se repite en cada capa que ha de ser modificada, lo que se realiza por el procedimiento de enmascaramiento.

