

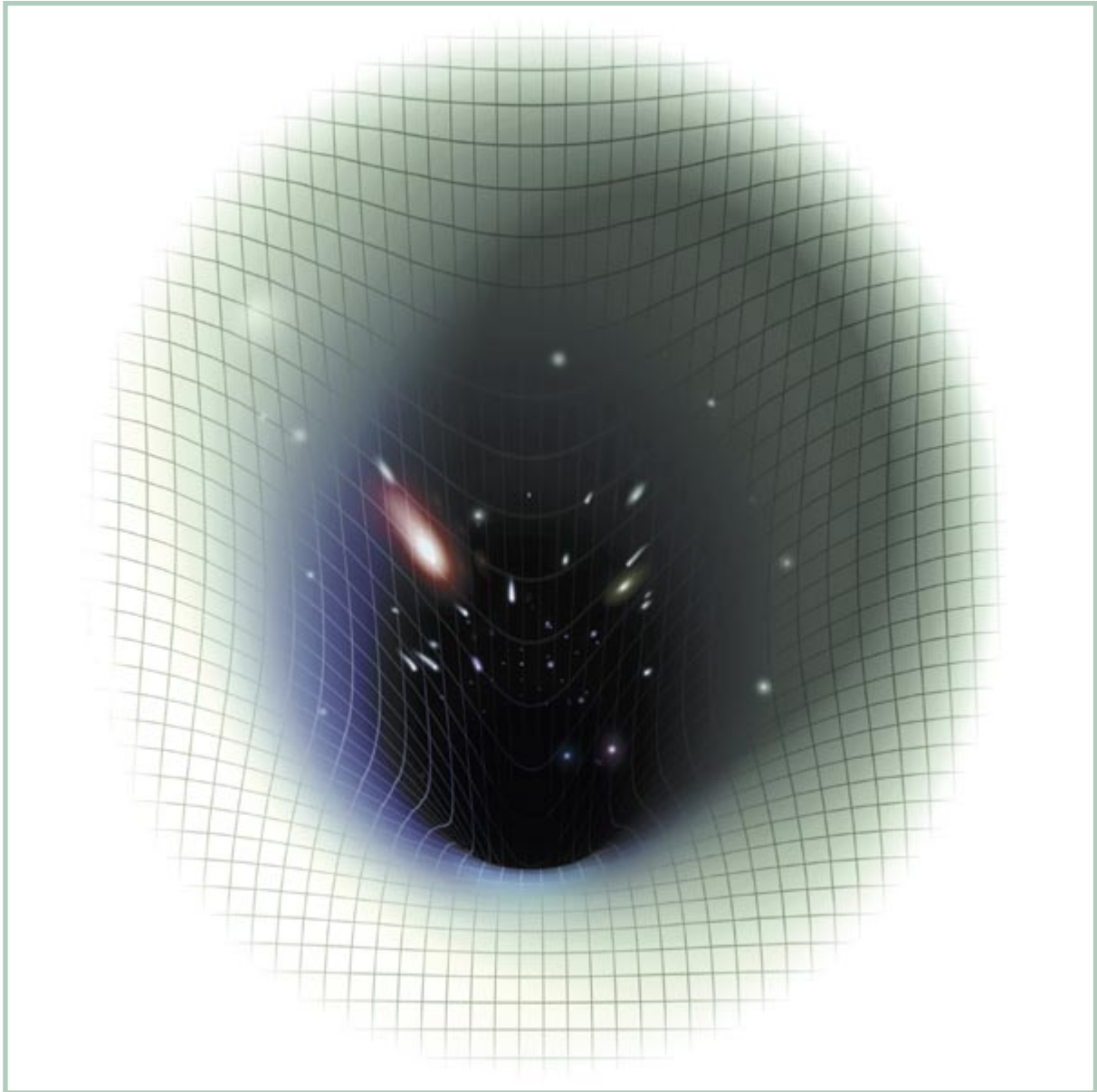
INVESTIGACION *y* CIENCIA

DISCOS COMPACTOS DEL FUTURO

MEDICAMENTOS CONTRA EL CANCER

AVATARES DEL ALFABETO EN JAPON

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

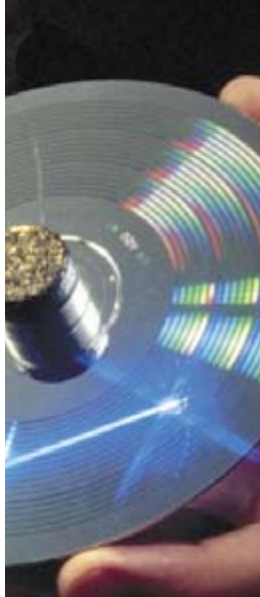


9 770210 136004 00240

DEFORMACION DEL ESPACIO-TIEMPO POR LOS AGUJEROS NEGROS

SEPTIEMBRE 1996
800 PTAS.

4



EL FUTURO DE LOS DISCOS COMPACTOS

La próxima generación de discos compactos

Alan E. Bell

Las nuevas versiones de reproductores de discos compactos y de lectores de CD-ROM, que estarán disponibles dentro de pocos meses, leen discos pequeños grabados por ambas caras. Tienen capacidad suficiente para una película de cine, por lo que podrían reemplazar pronto a los magnetoscopios actuales.

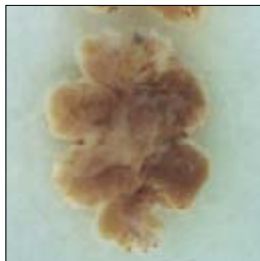
10

Técnica del láser azul para discos compactos

Robert L. Gunshor y Arto V. Nurmikko

La densidad de una memoria óptica depende del grado de concentración de las muescas que almacenan los datos, lo que a su vez depende de la longitud de onda del rayo láser que los lea. El haz ultrafino del nuevo diodo láser azul promete elevar mucho las capacidades de los discos.

14

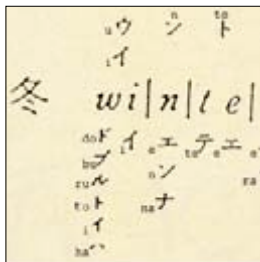


El tejido adiposo pardo

Marisa Puerta

La gran diferencia de temperatura que hay entre el útero materno y el ambiente exterior resultaría mortal para los mamíferos en el momento del nacimiento, si no fuera por esta especial acumulación de grasa. No acaba ahí su función, sino que el tejido adiposo pardo sigue desempeñando luego un papel importante en el equilibrio energético del animal.

22



La introducción del alfabeto en Japón

Florian Coulmas

El sistema ideográfico de escritura utilizado por los chinos y los japoneses es completamente distinto del alfabético. Cuando llegaron los primeros europeos se inició un curioso proceso de asimilación del alfabeto, que duró varios siglos. La escritura alfabética del idioma japonés conserva todavía hoy cierto aire de modernidad exótica.

48



La naturaleza del espacio y el tiempo

Stephen W. Hawking y Roger Penrose

Dos de los físicos teóricos más conocidos y brillantes debaten algunos de los misterios más provocativos con los que se enfrenta la ciencia. Cuando las cosas desaparecen en un agujero negro, ¿se pierde realmente todo rastro de ellas para siempre? ¿Cómo empezó el universo y cómo acabará? ¿Están en conflicto las dos teorías centrales de la física moderna?

54**Los taxoides, nuevas armas contra el cáncer***K. C. Nicolaou, Rodney K. Guy y Pierre Potier*

La corteza del tejo del Pacífico contiene una sustancia, el taxol, de notable acción anticancerosa. Recientemente se han superado los problemas iniciales relativos a la escasez del producto y a sus efectos secundarios. Los químicos han conseguido sintetizar una familia de fármacos relacionados con el taxol.

62**La mayor extinción biológica conocida***Douglas H. Erwin*

Una serie de factores adversos, entre los que estaban la disminución del nivel de los océanos por todo el planeta y grandes erupciones volcánicas, contribuyeron a eliminar de la faz de la Tierra a la mayoría de las especies animales, hace unos 250 millones de años.

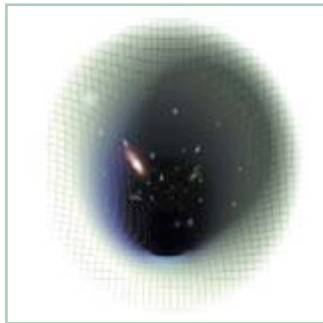
70**Aspectos arcanos de la cirugía***Max Aguilera-Hellweg*

Sólo los equipos de cirugía especializados tienen normalmente acceso a las imágenes captadas en estas impresionantes fotografías. Revelan la vitalidad y la vulnerabilidad de nuestros cuerpos, así como el curioso equilibrio que se produce en el acto quirúrgico entre atención compasiva e invasión agresiva.

76**Sensores del exosqueleto y locomoción***Sasha N. Zill y Ernst-August Seyfarth*

Los diseñadores de robots de muchas patas podrían aprender unas cuantas cosas de los insectos, las arañas y los cangrejos. Estos ágiles organismos coordinan sus múltiples apéndices con la ayuda de “sensores de presión” desarrollados en su esqueleto externo.

SECCIONES**3** Hace...**34** Ciencia y sociedad**46** De cerca**82** Taller y laboratorio**85** Juegos matemáticos**88** Cavilaciones históricas**90** Libros**96** Ideas aplicadas



Portada: Slim Films

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
4-7	Michael Goodman
8	Lisa Burnett
11	IBM Centro de Investigación de Almadén
12-13	Jared Schneidman Design
14	Silvia Nuere
15	Marisa Puerta
16-17	Silvia Nuere
18-19	Marisa Puerta
20	Silvia Nuere (<i>arriba</i>), Marisa Puerta (<i>abajo</i>)
22-31	Spektrum der Wissenschaft
49	Laurie Grace (<i>arriba</i>), Robert Hunt (<i>abajo</i>)
50-52	Laurie Grace
53	Laurie Grace (<i>arriba</i>), Corbis-Bettmann, Laurie Grace (<i>abajo</i>)
54-55	Erik S. Lesser
56-57	Tomo Narashima
58-59	A. Ulises Acuña, F. Amat-Guerri y J. Manuel Andreu
60	Tomo Narashima
62-63	Patricia J. Wynne
64	Johnny Johnson
65-66	Katherine Lambert
67	Patricia J. Wynne
68	Douglas H. Erwin
70-75	Max Aguilera-Hellweg
76-77	Roberto Osti
78	Jennifer Chistiansen (<i>dibujos superiores</i>), microfotografías de Ulrike Gruenert (<i>izquierda</i>), Manfred Schmidt (<i>centro</i>), Ernst-August Seyfarth (<i>derecha</i>) Universidad de Frankfurt; Jared Schneidman Design (<i>dibujos centro</i>); Ernst-August Seyfarth (<i>abajo</i>)
79	Roberto Osti (<i>arriba</i>), Ernst-August Seyfarth (<i>centro</i>), Roberto Osti (<i>dibujo</i>), Jared Schneidman Design (<i>detalle en recuadro</i>)
80	Jared Schneidman Design
82	Robert Slaughter
83	Bryan Christie (<i>dibujo</i>), Robert Slaughter (<i>fotografías</i>)
85	Michael Goodman
86	Johnny Johnson
88	Cortesía de Riera Porcelana Cristal, representante de Wedgwood, Barcelona
96	Laurie Grace

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Luis Bou: *El futuro de los discos compactos, Aspectos arcanos de la cirugía, De cerca y Juegos matemáticos*; Esteban Santiago: *Los taxoides, nuevas armas contra el cáncer*; Meritxell Canals Bartrina: *La introducción del alfabeto en Japón*; Joandomènec Ros: *La mayor extinción biológica conocida*; Xavier Bellés: *Sensores del exosqueleto y locomoción*; Ramón Pascual: *La naturaleza del espacio y el tiempo*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*; J. M. García de la Mora: *Cavilaciones históricas*

Ciencia y sociedad: J. M. García de la Mora, Ana M^a Rubio, Joandomènec Ros, Agustín Sánchez Lavega y Diana Estévez

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

Carmen Lebrón Pérez

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a – 08021 Barcelona (España)

Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway,

News Editor; Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley;

W. Wayt Gibbs; John Horgan, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler;

Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider;

Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette

PRODUCTION Richard Sasso

PUBLISHER John J. Moeling, Jr.

CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas

Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA

Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad

Francisca Martínez Soriano

Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.

28009 Madrid

Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:

Miguel Munill

Muntaner, 339 pral. 1.^a

08021 Barcelona

Tel. (93) 321 21 14

Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada

Copyright © 1996 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1996 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)

Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Hace...

...cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «Acaban de exhibirse públicamente las posibilidades industriales de unos ojos capaces de ver la calidez de un cuerpo humano en la oscuridad, de localizar un barco por la noche y de encontrar las chimeneas de una fábrica por su radiación térmica. Estos dispositivos emplean reflectores para enfocar la radiación de “luz negra” de un objeto hacia unos diminutos elementos llamados termistores, sustancias poseedoras de una sensibilidad eléctrica al calor tan poco común que pueden detectar variaciones de temperatura de hasta de una millonésima de grado. Los termistores proceden de una familia de materiales conocidos como semiconductores, cuya reacción a la temperatura es inversa a la de los conductores normales. En este caso, conforme aumenta la temperatura, la resistencia disminuye rápidamente.»

...cien años

SCIENTIFIC AMERICAN: «William J. Eddy, de Bayonne (New Jersey), ha conseguido tomar varias vistas fotográficas nítidas de Boston empleando una cámara suspendida de cometas. Las usadas eran del tipo sin cola, como las empleadas en el Observatorio de Blue Hill, con diámetros de un metro ochenta y de dos metros diez. En función de la intensidad del viento, para suspender la cámara se requerían de cuatro a ocho cometas. Así se obtuvieron tomas nítidas del Common y de Beacon Street. El señor Eddy estima que la cámara se hallaba a unos cuatrocientos cincuenta metros de altura cuando tomó una de las vistas.»

«La Oficina de Patentes de EE.UU. está dispuesta a conceder patentes de medicinas, aunque siga pendiente la cuestión de si un médico puede, según la ética profesional, patentar un fármaco. Las medicinas sintéticas, muchas veces productos alquitranados, ya están invadiendo el campo de las medicinas naturales, más simples, y es posible que ya exista un cierto número de compuestos médicos patentables, sustitutos de la quinina y de otros alcaloides y extractos vegetales.»

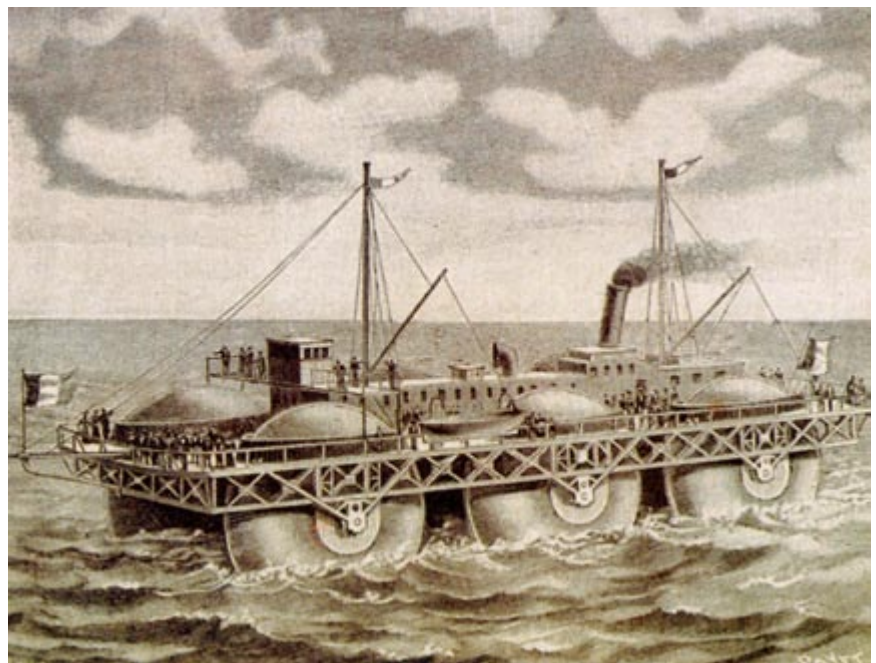
«El extraordinario buque que mostramos en el grabado fue botado al Sena en agosto. El vapor de ruedas *Bazin* es una plataforma de hierro rectangular, de cuarenta y cinco metros de largo, montada sobre seis ruedas lenticulares huecas, cada una de unos doce metros de diámetro. De cada rueda sólo está sumergido un tercio. El propulsor de hélice está accionado por un motor de 550 caballos y cada par de ruedas se mueve lentamente gracias a un motor de 50 caballos. Se confía en que el uso de las ruedas minimice la fricción del agua. La idea del inventor es que la embarcación rueda sobre el agua y no la hienda. Experimentos efectuados con un modelo hecho a pequeña escala, cuyas ruedas se movían mediante un mecanismo, mostraron que la velocidad del barco se doblaba con un gasto de energía adicional de sólo un cuarto. El proyecto en su conjunto es tan original que se seguirán con el mayor interés los resultados de las pruebas.»

...ciento cincuenta años

«“Algodón explosivo-la pólvora obsoleta.” Este bulo ha comenzado a circular por la prensa, afirmándose

que proviene de un periódico suizo. Según él, el profesor Schonbien ha presentado a la Sociedad de Historia Natural de Basilea cierta cantidad de algodón preparado de tal modo que resulta más explosivo que la pólvora. El artículo pretende que, en un experimento, “con una dracma de algodón introducido en el tubo de un cañón, se envió un proyectil a más de ciento ochenta metros, donde penetró en un tablón de pino hasta una profundidad de casi ocho centímetros”. Es posible que una hebra hilada con tan químico algodón pudiese partir los peñascos más grandes sin más que disponerla a su alrededor y golpearla con un martillo.» [Nota de la redacción: Esta primitiva variedad de algodón pólvora, ideada por el químico alemán Christian F. Schönbein, se desarrolló a lo largo de los dos decenios siguientes. Se consiguió una forma estable que, de hecho, desplazó a la pólvora común.]

«Los groenlandeses han descubierto que las inmensas cantidades de hielo de que dispone su país son un artículo vendible en Europa. No hace mucho que se envió a Londres un cargamento de 110 toneladas.»



Vapor de ruedas Bazin

La próxima generación de discos compactos

Un memorable acuerdo entre empresas competidoras ha dado como resultado la creación de un nuevo disco digital versátil (DVD), compatible con los actuales.

Los primeros llegarán al mercado este otoño

Alan D. Bell

Entre los productos de electrónica de consumo de mayor éxito en todo el mundo se cuentan los discos compactos y sus reproductores. Desde la introducción en 1982 de grabaciones sonoras en disco compacto se han vendido más de 400 millones de equipos y más de 6000 millones de discos. Los CD-ROM (discos compactos para ordenador), extensión del formato inicial definido para grabaciones sonoras, han logrado un éxito similar en su aplicación a los ordenadores personales y las previsiones indican que sólo en 1996 se venderán más de 35 millones de lectores de CD-ROM. Pronto hará su debut una nueva generación de esta técnica, basada en el "disco digital versátil" o DVD. Diez grandes compañías de electrónica tienen planes para presentar a finales de este año o primeros de 1997 una gama de productos DVD, entre ellos, reproductores de películas en formato DVD y lectores de DVD-ROM.

El formato DVD es resultado de un acuerdo sin precedentes, alcanzado a finales de 1995 entre grupos rivales de compañías internacionales. Los grupos competidores conjugaron las mejores características de sus técnicas

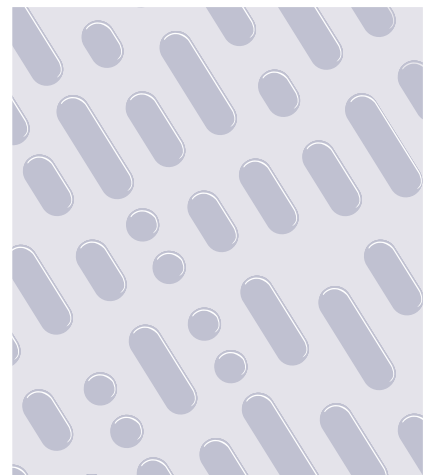
propias, que habían sido desarrolladas por separado. La nueva generación de lector de discos ópticos que este convenio estipula podrá reproducir tanto los discos compactos ya existentes como los nuevos DVD, los cuales, merced a cierto número de innovaciones en su diseño, llegan a almacenar hasta 14 veces más información que los discos compactos actuales. La velocidad con la que los reproductores de DVD pueden leer datos es además de 11 millones de bits por segundo, equivalente a la de un lector de CD-ROM 9X, estableciendo así una nueva marca de rendimiento.

Es fácil imaginar que capacidades y rendimientos tan elevados se prestan a una gama de aplicaciones impresionante. Los DVD pueden dar cabida a música, películas, juegos y otras combinaciones multimedia, como hacen ya los discos compactos modernos. Pero los nuevos contendrán mucho más y lo reproducirán con calidad superior. Por otra parte, los DVD deberían inspirar la creación de productos totalmente nuevos. Por ejemplo, un vídeo realizado para reproducción desde DVD no sólo podría almacenar una película com-

pleta, sino ofrecer también a los espectadores la posibilidad de elegir entre varios encuadres, argumentos y bandas sonoras en diversos idiomas. Es de esperar que se popularicen los programas de karaoke interactivo. Y, en el plazo de algunos años, deberían llegar al mercado discos y equipos de DVD-RAM (memoria de acceso aleatorio) y DVD-R (grabables). A plazo más lejano estoy convencido de que estarán disponibles videocámaras de registro digital en disco DVD-RAM grabable.

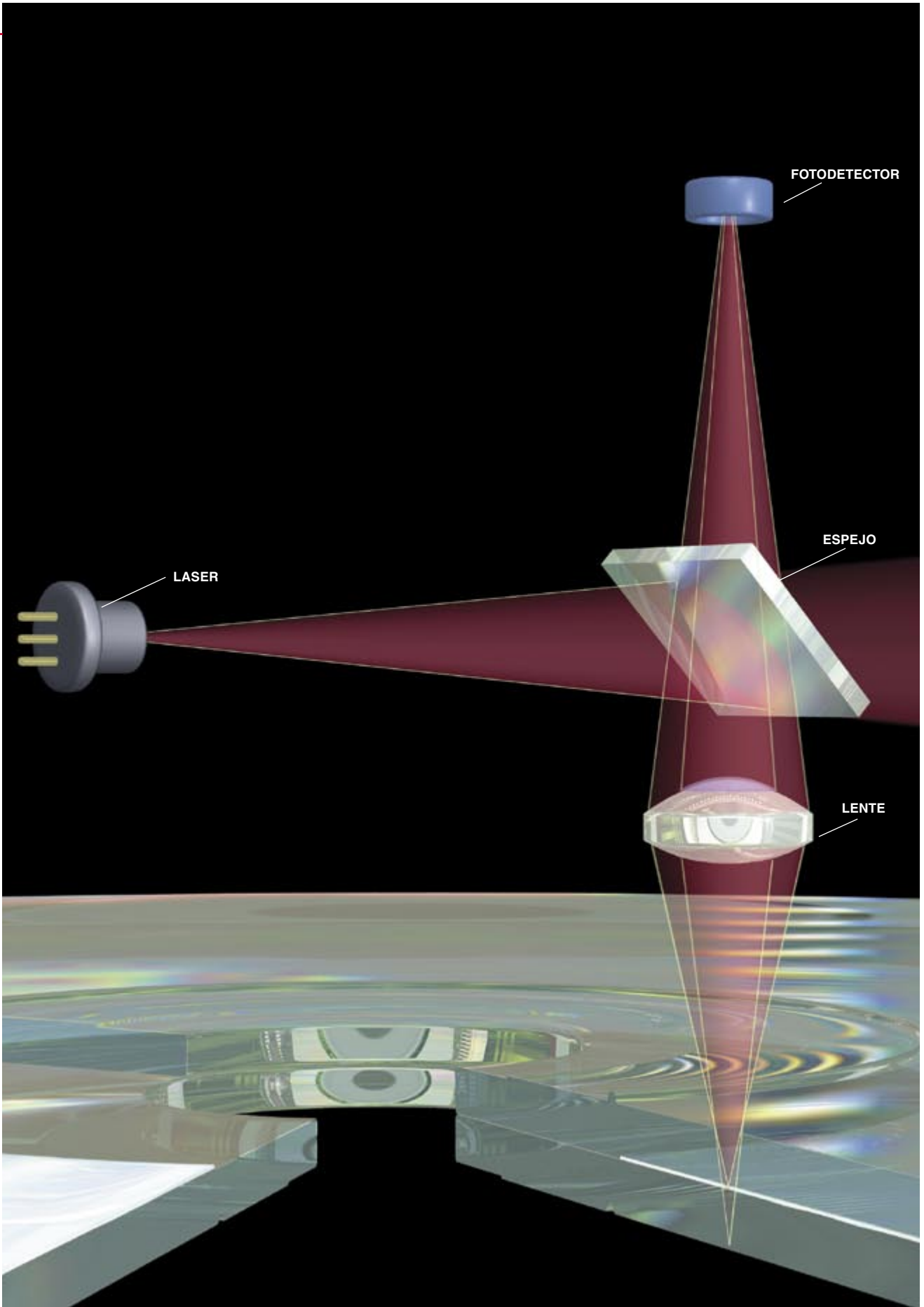
Mayor número de muescas

Los formatos DVD y CD comparan la misma tecnología básica de almacenamiento óptico: la



MUESCAS DE DATOS

1. LOS NUEVOS DISCOS DE ALMACENAMIENTO OPTICO, a diferencia de los discos compactos, contienen dos estratos de muescas de datos (*izquierda*). Conforme gira el disco, estas marcas diminutas van pasando bajo un haz de luz láser (*rojo*), provocando variaciones en la cantidad de luz reflejada. Un fotodetector y otros elementos electrónicos traducen estas variaciones en los ceros y unos que constituyen los datos digitales. Por ajuste de la posición de la lente se puede hacer que el reproductor lea información ora de la cara superior, ora de la inferior de un DVD (disco versátil digital). La luz que atraviesa el holograma del centro de la lente se enfoca en un segundo punto, idóneo para la lectura de los discos compactos actuales.



ALAN E. BELL comenzó su carrera profesional en 1974, en la RCA Corporation, donde inventó varios dispositivos esenciales, hoy utilizados en productos de grabación óptica. Ingresó en IBM en 1982, ocupando en dicha corporación diversos cargos. Durante 1995 fue presidente del Technical Working Group, grupo de representantes de compañías de informática que contribuyeron a unificar formatos rivales en el formato DVD adoptado para la próxima generación de productos en disco compacto. Bell se doctoró en física en el Imperial College, London University.

información está representada mediante muescas microscópicas que se forman sobre la superficie de un disco de plástico por inyección del material en un molde. La cara

del disco donde están grabadas las muescas se recubre después con una fina capa de aluminio, seguida, en el caso de un disco compacto, por una capa de laca protectora y una etiqueta. Para leer los datos el equipo reproductor proyecta un haz puntual de luz láser sobre la capa de datos a través del sustrato del disco, al tiempo que lo mantiene en rotación. La intensidad de la luz reflejada por la superficie varía en función de la presencia (o ausencia) de muescas a lo largo de la pista de información. Cuando es un muesca lo que queda directamente debajo del haz de lectura, la luz reflejada por el disco es mucho menor que si el haz incide sobre una porción plana de la pista. Un fotodetector y otros dispositivos electrónicos del equipo traducen estas variaciones en los ceros y unos del código digital que representan la información almacenada.

Dos son las diferencias físicas esenciales entre los discos compactos y los DVD. En primer lugar las muescas de los DVD son más pequeñas, con un diámetro de sólo 0,4 micras; las de un compacto son más del doble de grandes: 0,83 micras de diámetro. Y las pistas de datos de los DVD distan nada más que 0,74 micras, mientras que las de los discos compactos están separadas 1,6 micras. Estas son las razones de que, aunque los DVD tengan igual tamaño que los compactos, su espiral de datos tenga una longitud de más de once kilómetros, más del doble que la del compacto. Para poder leer estas muescas más pequeñas, el haz de lectura del reproductor de DVD tiene que lograr un enfoque más fino, lo que consigue gracias a un láser semiconductor cuya longitud de onda está entre 635 y 650 nanómetros. Los reproductores de discos compactos se valen de láseres infrarrojos de mayor longitud

Un formato universal

Hace dieciocho meses parecía inverosímil que pudiera surgir en un plazo breve una técnica unificada de discos compactos de segunda generación. Dos grupos de compañías de electrónica de consumo —encabezado uno por Sony Corporation y Philips Electronics (coinventores del disco compacto original) y el otro por Toshiba Corporation, Matsushita Electric Industrial Corporation y Time Warner— habían creado diseños propios, cada uno por su parte. Sony y Philips proponían el disco compacto multimedios (MMCD), que podría almacenar 3,7 gigaoctetos en un disco de una sola cara, parecido al disco compacto habitual. Pero el grupo encabezado por Toshiba proyectaba un formato radicalmente nuevo, al que denominaron SD, abreviatura de “superdensidad”, capaz de alojar cinco gigaoctetos por cada lado de un disco grabado por dos caras.

Toshiba empezó ganándose el apoyo de buena parte de la industria cinematográfica, que consideraba que el formato SD era el único capaz de dar cabida digital a películas completas con bandas sonoras de calidad de disco compacto. Por otra parte, muchos fabricantes se encontraban más cómodos con el MMCD, que era una prolongación poco innovadora del formato CD, perfectamente probado. Sin embargo, ni los estudios ni las compañías informáticas estaban dispuestos a aceptar dos formatos incompatibles y tampoco lo estaban a una posible repetición del barullo que se produjo entre los sistemas VHS y Betamax para videocasete, pues ello frenaría la introducción de cualquiera de los formatos hasta que uno de los dos predominase. Quienes sufrirían serían entonces los infelices consumidores que hubieran invertido en el sistema desechado, ya que los proveedores de contenidos se pasarían en bloque al formato dominante.

Un grupo especializado de expertos en almacenamiento informático de datos, inicialmente convocado por Sony y Philips para que revisaran críticamente su propuesta, amplió el alcance de su examen y estudió también la

de Toshiba. Como soy el presidente de este grupo, he participado activamente en estas revisiones conforme han ido evolucionando a lo largo del último año y medio. Este autodenominado Grupo Técnico de Trabajo (TWG) formuló claramente desde el primer momento su recomendación y su objetivo más importante: conseguir un formato de gran compatibilidad que fuese apto para toda una familia de tipos de disco, tanto grabables como sólo de lectura.

En agosto de 1995 el TWG estimó que ambos formatos eran aceptables para aplicaciones informáticas, pero encontró inadmisibles que no se hubieran unificado. Como algunas empresas informáticas habían manifestado sus preferencias por uno de ellos, se iniciaron rápidamente conversaciones formales encaminadas a conjugar los mejores elementos de cada diseño. Los patrocinadores de los sistemas acabaron por aceptar la oferta de IBM de arbitrar las posibles diferencias técnicas y el 15 de septiembre se pusieron de acuerdo en aceptar el sustrato delgado y el código de corrección de errores de la propuesta Toshiba/Time Warner y el código de modulación de señal tomado del formato Sony/Philips.

El 8 de diciembre se confirmaron los detalles que faltaban del sistema unificado, que se hizo público para discos sólo de lectura con la denominación de DVD, siglas de “disco versátil digital”. El grupo TWG ha proseguido desde entonces sus trabajos con las compañías de la DVD Alliance, centrándose en los aspectos técnicos de los formatos de disco borrable DVD-RAM y del DVD-R grabable una sola vez. El grupo se esfuerza ahora en animar a las compañías del formato DVD para que maximicen la compatibilidad entre los medios DVD-ROM, DVD-RAM y DVD-R y sus productos, superando incluso las barreras existentes entre diversos tipos de aplicación, como pudieran ser los ordenadores personales y los sistemas de entretenimiento.

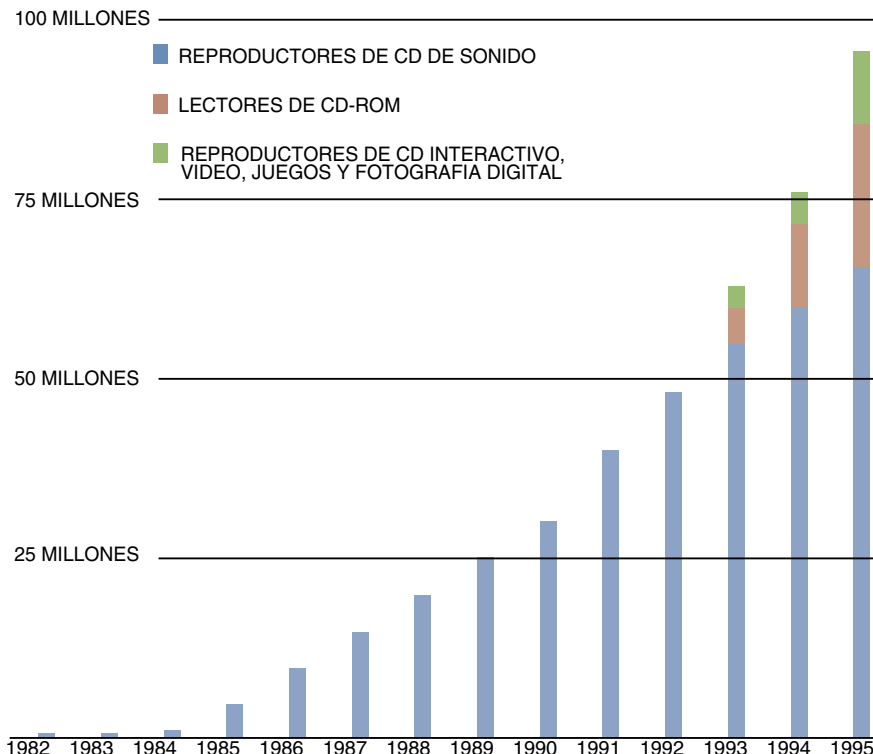
—A.E.B.

de onda, 780 nanómetros. Además los reproductores de DVD utilizan una lente de enfoque de mayor potencia, que tiene una apertura numérica más grande. Estas diferencias, sumadas a la eficiencia adicional del formato DVD anteriormente descrito, explican la enorme capacidad de 4,7 gigaoctetos de cada capa de información de los DVD.

La capacidad de un DVD puede duplicarse, llevándola a 9,4 gigaoctetos, y volverla a duplicar otra vez, alcanzando unos 17 gigaoctetos, merced a otras dos innovaciones. Aunque los DVD y los compactos tengan el mismo espesor global, de 1,2 milímetros, los DVD poseen dos sustratos capaces de portar información, mientras que los discos compactos sólo poseen uno. Los sustratos de un DVD están ligados entre sí, quedando sus superficies grabadas enfrentadas en el centro del disco, lo que las protege de los efectos dañinos de las partículas de polvo y de las rayaduras. Los discos de diseño más sencillo requerirían que, para acceder a la segunda cara del DVD, se retirase el disco, se le diese la vuelta, y se volviese a insertar. Pero hay otra variante, el diseño estratificado, que permite que las dos caras se lean sin dar la vuelta al disco.

El sustrato superior de un disco estratificado está recubierto con una capa semirreflectante, que refleja la luz suficiente para permitir que el haz de láser lea las indentaciones en él situadas, pero transmite también la suficiente para que, si se enfoca el haz sobre el estrato inferior, pueda leerse su información, circunstancia en la que las marcas de la capa superior quedan desenfocadas y no provocan interferencia. (Para corregir la pequeña, pero inevitable, pérdida de calidad reproductora que conlleva este método es necesario reducir algo la capacidad de almacenamiento, que se queda en 8,5 gigaoctetos y explica por qué un DVD biestratificado y de doble cara alberga alrededor de 17 gigaoctetos.) Para unir los dos sustratos es imperativo utilizar un adhesivo de gran calidad óptica; el espesor de la unión ha de mantenerse dentro de límites precisos para evitar aberraciones excesivas del punto enfocado.

El diseño de los DVD biestratificados ofrece, además de mayor capacidad, otras ventajas: reduce los errores causados por los desequilibrios y el alabeo del disco. Todos los discos compactos son propensos a experimentar pandeos. Cuando su superficie se inclina y deja de ser perpendicular al haz de láser, pue-



2. LAS VENTAS DE REPRODUCTORES de discos compactos han subido sin cesar desde 1982, fecha de introducción de estos dispositivos. El gráfico muestra el número de reproductores vendidos en todo el mundo a lo largo de los últimos catorce años.

den producirse errores de lectura. La medida en que el punto de lectura resulta degradado por la inclinación del disco es proporcional al espesor del sustrato. El sustrato del DVD tiene un espesor de sólo 0,6 mm, lo cual beneficia al diseño global. Esta delgadez hace que el DVD sea menos sensible a las torceduras que el disco compacto, cuyo sustrato tiene un espesor de 1,2 mm.

Hay razones adicionales para que el DVD sea más insensible a ciertos tipos de inclinaciones y pandeos. Un ejemplo lo tenemos en los cambios bruscos de temperatura o de humedad, que pueden provocar la hinchazón o el encogimiento de los sustratos plásticos. Como la construcción del DVD es simétrica, las perturbaciones de una cara tienden a compensar a las de la otra, reduciendo los efectos de los cambios ambientales y minimizando la deformación resultante.

El público ha invertido ya sumas importantes en colecciones de discos compactos sonoros o en CD-ROMs, por lo que se consideró que uno de los requisitos de diseño prioritarios tenía que ser que los reproductores de DVD pudieran leer los discos compactos existentes y no sólo los nuevos. La construcción de este tipo de reproductores imponía caracterís-

ticas específicas al diseño óptico. El sistema más sencillo consiste en montar dos lentes sobre un mismo cabezal óptico, optimizadas, una de ellas, para sustratos de 1,2 mm y, la otra, para los de 0,6 mm. Las lentes se intercambiarían por medios mecánicos cuando conviniera.

Se acertó con una solución más elegante, que consiste en utilizar una sola lente moldeada, provista en su centro de un elemento holográfico. La luz que pasa a través de la corona exterior de la lente no es afectada por el holograma y queda enfocada sobre el plano en un punto de mínimo tamaño, tan pequeño que es apto para la lectura de DVD. Alrededor de la tercera parte del haz de lectura incidente sobre la porción central es enfocada por ambos, la lente y el holograma, creando un punto idóneo para la lectura de las hendiduras de un disco compacto, que es más grueso.

Mayor número de bits

Además de contener más muescas que los discos compactos, los DVD también albergan más información en cada una de ellas, merced

Examen comparativo de los discos DVD y CD

Característica	Nuevo formato	Formato antiguo
Diámetro del disco	120 milímetros	120 milímetros
Estructura del disco	Dos sustratos, de 0,6 milímetros de espesor cada uno	Un sustrato de 1,2 milímetros de espesor
Longitud mínima de la muesca	0,4 micras	0,83 micras
Longitud de onda del láser	de 635 a 650 nanómetros	780 nanómetros
Capacidad	Dos estratos, uno por cara, 9,4 gigaoctetos en total Dos estratos, ambos en una misma cara, 8,5 gigaoctetos en total Cuatro estratos, dos por cada cara, 17 gigaoctetos en total	Un estrato en una cara, 0,68 gigaoctetos en total
Apertura numérica	0,60	0,45
Densidad de las pistas	34.000 pistas por pulgada (13.400 pistas por cm)	16.000 pistas por pulgada (6300 pistas por cm)
Densidad de bits	96.000 bits por pulgada (37.795 bits por cm)	43.000 bits por pulgada (16.930 bits por cm)
Velocidad de transferencia	11 megabits por segundo	de 1,2 a 4,8 megabits por segundo
Densidad de datos	3,28 gigabits por pulgada cuadrada (0,51 gigabits por cm ²)	0,68 gigabits por pulgada cuadrada (0,11 gigabits por cm ²)

a perfeccionamientos conseguidos en dos aspectos del rendimiento del formato de codificación. Con independencia del tipo que tenga la información original —datos, textos, imágenes, sonido o vídeo— es preciso proteger a los ceros y unos digitales que la representan —los llamados “bits de usuario”— de los efectos de errores introducidos durante la reproducción, provocados por factores como el polvo, las rayaduras o la corrosión. Las técnicas de corrección y control de errores (CCE) reducen al mínimo tales problemas merced a algoritmos especiales que computan bits de datos adicionales, que se almacenan junto con los del usuario. Estos bits adicionales, aunque esenciales, reducen la capacidad del disco disponible para el contenido real.

La corrección y el control de errores de los DVD son de una potencia extraordinaria. Pueden, por ejemplo, corregir una salva de errores de hasta 2000 octetos de longitud, lo que equivale a unos cuatro milímetros de pista. La corrección de datos ocupa alrededor del 13 por ciento de la

capacidad del disco en el formato DVD. Los datos comparables de los discos compactos ocupan nada menos que un tercio de su capacidad total. Este mayor rendimiento de la corrección en los DVD, que no se hace a costa de su funcionalidad, se debe en buena medida a la mayor potencia de cómputo de los microcircuitos de nuestros días, potencia de la que no se disponía cuando se diseñó el formato del disco compacto.

Durante la grabación, los datos del usuario y los de corrección y control de errores se convierten en los denominados bits de código modulador, que constituyen las ristas reales de bits binarios representados por las muescas de la superficie del disco. Este paso es necesario para regular la gama de tamaños de muesca necesarios para la representación de los datos, un aspecto importante a la hora de garantizar la detección fiable de datos y pistas durante la reproducción. El método de codificación utilizado en los discos compactos transforma ocho bits de datos de usuario en 17 bits de código modulador. El DVD

utiliza un método perfeccionado que transforma ocho bits de usuario en solamente 16 bits de código modulador, preservando al mismo tiempo los beneficios inherentes al método original de los compactos. Al ser menos los bits de código modulador utilizados para representar los bits de datos de usuario, el DVD puede contener mayor número de éstos. Tal característica hace que su eficacia sea como un seis por ciento mayor que la del formato CD.

Mayores posibilidades

El formato DVD permitirá que los consumidores puedan, por vez primera, adquirir y ver películas cinematográficas de larga duración, con bandas sonoras de gran calidad, equiparable a la de las salas de cine, que serán prácticamente indistinguibles de las cintas originales que sirvieron de patrón. Esta característica plantea problemas importantes relativos a la protección de derechos de autor en el dominio digital, que están siendo debatidos. Pero la verdad es que la capacidad y el rendimiento del DVD se eligieron pensando en que la visión de películas fuese una de sus aplicaciones principales.

A pesar de la enorme capacidad de 4,7 gigaoctetos de cada superficie DVD, para que una película cinematográfica digitalizada quepa en el disco es necesario almacenarla en forma comprimida. El método de compresión utilizado, un estándar denominado MPEG2, es un método de compresión variable de los datos, en el cual el grado de compresión se va adaptando de forma óptima a la complejidad instantánea de la escena: las escenas visualmente detalladas o llenas de acción propenden a ser más difíciles de comprimir —y por consiguiente, se les asigna mayor número de bits— que las partes menos complejas de la película. En consecuencia la tasa del flujo de bits comprimidos varía durante la reproducción. Este método optimiza la calidad global de la película incluso en casos de limitación de capacidad total. Otra característica de interés es que el usuario puede optar entre reproducir una película DVD en el rectángulo típico de televisión (cuya relación ancho/alto es 4:3) o bien en el formato 16:9, más parecido al de las actuales películas de cine.

La calidad sonora de las películas en DVD también se beneficiará de los perfeccionamientos digitales. Quien

haya visto *Parque jurásico* o *Apolo 13* en una sala de proyección dotada de los mejores medios técnicos sabe que una sonorización multicanal de gran calidad refuerza mucho la ilusión. El formato para películas en DVD especifica que los métodos de codificación sonora utilizados sean o el AC-3 de compresión de audio multicanal (5.1), de Dolby Laboratories, o el sistema de modulación por codificación de impulsos (PCM), con el método MPEG como tercera opción. El sistema Dolby utiliza una velocidad de transferencia de hasta 448.000 bits por segundo para los bits de sonido ya comprimidos, al objeto de crear cinco canales independientes de audiofrecuencia con calidad de disco compacto, así como un sexto canal dedicado a los efectos sonoros de baja frecuencia, fragmentación que explica la designación del sistema como 5.1. Las normas técnicas de los DVD para discos de sonido puro —sucesores de las grabaciones sonoras en disco compacto— no están completamente elaboradas todavía, esperándose las propuestas de las empresas de grabación musical y de otros grupos interesados, como la Audio Engineering Society.

Al tener mayor capacidad, los DVD permitirán que los videojuegos, los productos de entretenimiento y las obras de consulta educativas tengan mayor riqueza, manteniéndose los costos de manufactura del disco muy parecidos a los de los compactos actuales. Los editores de productos multimedia ven muy claro que la botella que hoy es el compacto se va a convertir en una garrafa. En lugar de esforzarse en recortar el contenido hasta unos meros 680 megaoctetos, los autores de multimedia podrán pronto permitirse el lujo de pensar en cómo llenar de material apasionante discos biestratificados de 8,5 gigaoctetos de capacidad o incluso DVD de cuatro capas con una capacidad de 17 gigaoctetos.

Continuará

Los primeros equipos capaces de leer y grabar discos digitales versátiles podrían aparecer en 1998. Tanto el DVD grabable una sola vez como el DVD-RAM, susceptible de borrado y regrabación, prometen ser mucho más capaces y útiles que los formatos de discos compactos CD-R (grabable) y CD-E (borrable). Hasta ahora los sistemas de grabación óptica se han basado fundamentalmente en técni-

cas magnetoópticas. Pero, en el caso del DVD-RAM, resulta más verosímil que el medio de grabación recurra a los llamados materiales con cambio de fase. Si fuese así, se depositaría sobre la superficie del sustrato RAM una delgada película policristalina de grano ultrafino. Para almacenar cada bit, se fundiría una región de esta película de tamaño inferior a una micra mediante un impulso láserico de grabación, intenso pero brevísimo. Dado que un punto material tan diminuto se enfría muy rápidamente, la región fundida no tiene tiempo de recristalizarse; permanece, por el contrario, en estado desordenado y amorfo, muchísimo menos reflectante que la fase cristalizada. Esta diferencia de reflectividad entraña que un haz de lectura de baja intensidad —incapaz de volver a fundir el material— pueda descodificar los datos.

Tras no poca investigación se ha conseguido identificar y optimizar materiales lo suficientemente sensibles para el registro de datos, lo suficientemente estables para preservarlos y lo bastante duraderos para soportar cientos de millares de ciclos de grabación y borrado. La grabación por cambio de fase ofrece varios aspectos atractivos fundamentales. Dado que la reproducción depende solamente de la intensidad de la luz reflejada desde el disco, se pueden utilizar las mismas cabezas ópticas que encontramos en un reproductor de DVD-ROM. Los sistemas de reproducción magnetoóptica, por el contrario, exigen componentes especiales, capaces de percibir pequeños cambios en la polarización del reflejo del haz de lectura. El costo de un equipo de grabación y reproducción de discos DVD-RAM basados en cambios de fase podría no ser, pues, mucho mayor que el de sus parientes “sólo de lectura.” Además los discos DVD-RAM podrían ser leídos en reproductores de DVD-ROM, dando por supuesto que todos los restantes detalles del formato se diseñen teniendo presente esta compatibilidad.

Existe ahora mismo una gran variedad de dispositivos removibles de almacenamiento de datos, con la confusión correspondiente: discos flexibles de alta y baja capacidad; discos duros en cartucho removible; medios magnetoópticos y diversas opciones de cartuchos de cinta magnética. Nadie espera que los futuros equipos de DVD-R y DVD-RAM reemplacen a los ubicuos discos duros magnéticos, mucho más rápidos. Pero tienen sin duda la posibilidad de ofrecer una solución universal para todas aquellas aplicaciones que requieran un medio removible de registro y reproducción.

Como se espera que el costo de los medios grabables de tipo DVD llegue a ser de unas 3 a 7 pesetas por megaocteto, lo bastante bajo como para satisfacer al más ansioso aficionado a “bajar” ficheros de Internet, los equipos de registro de DVD grabables pueden ofrecer gran capacidad, buen rendimiento en el acceso aleatorio y bajo costo, amén de compatibilidad con el que se espera que sea el formato más difundido para distribución de información, el DVD-ROM. Un solo dispositivo DVD-RAM podría, pues, acomodar muchas de las aplicaciones actuales y futuras de los ordenadores personales, entre ellas, la autoedición, los sistemas de autoría multimedia, la distribución de contenidos, la transferencia de datos y el archivo y respaldo de datos.

El formato DVD se ha concebido teniendo presentes sus derivaciones. Así, por ejemplo, el desarrollo de láseres fiables de longitud de onda más corta, que emitieran luz azul o luz verde, puede que duplique otra vez la densidad de los datos, como se explica en el artículo siguiente. Podemos imaginar que variantes de la tecnología DVD básica puedan ofrecer en bandeja algún día 50 gigaoctetos o más en un disco de 1,2 milímetros de espesor, lo que equivaldría a una pequeña biblioteca en un solo disco.

Un grupo de especialistas se encuentra en este momento completando las especificaciones generales de la familia unificada del formato DVD. Han de esforzarse en formular opciones técnicas que proporcionen la máxima funcionalidad y sirvan de base para aplicaciones futuras, muchas de las cuales todavía están por inventar. Lo mismo que el medio televisivo evolucionó rápidamente y se convirtió en mucho más que “radio con imágenes”, también es probable que las aplicaciones basadas en el nuevo formato de disco compacto evolucionen en los años venideros de formas sorprendentes e impredecibles.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE COMPACT DISC HANDBOOK. Ken C. Pohlmann. The Computer Music and Digital Audio Series, volumen 5. A-R Editions, Madison, Wisc., 1992.

Se puede acceder a una información amplia sobre discos digitales versátiles en <http://www.ima.org/forums/imf/dvd/faq.html>

Técnica del láser azul para discos compactos

No es nada fácil conseguir que cristales semiconductores emitan luz láser de color azul. Pero la ampliación de la capacidad de almacenamiento de los discos ópticos bien merece el esfuerzo

Robert L. Gunshor y Arto V. Nurmikko

La pieza clave de cualquier lector de disco compacto o de CD-ROM es el diminuto y poderoso láser, verdadero estilo o punzón óptico de excepcional agudeza. Gracias a él puede leerse la información que almacena un CD en su superficie en forma de minúsculos hoyos. (Un tipo futuro de lectores de disco óptico registrarán la información mediante cambios reversibles del material del sustrato.) La longitud de onda de la luz láser limita el número de muescas —y por tanto la cantidad de datos— que caben en el disco. A longitudes de onda más cortas, podrán leerse muescas más pequeñas.

Los láseres que utilizan los lectores CD actuales son de arseniuro de galio (GaAs) y semiconductores afines, que al ser excitados emiten luz coherente en longitud de onda de unos 820 nanómetros (1 nanómetro = 10^{-9} metros). Con esta luz infrarroja se pueden leer muescas mayores de un micrometro, algo así como 1/50 del grosor de un cabello humano. Se están desarrollando nuevos formatos de disco óptico que aprovechan los progresos realizados en láseres de infrarrojos para aumentar la densidad de información,

como explica el artículo precedente. Pero los láseres de diodo azules, que emiten luz a 460 nanómetros, pueden comportarse todavía mejor y leer muescas mucho más diminutas. Un CD de audio así grabado podría almacenar, no ya una, sino las nueve sinfonías de Beethoven. Las aplicaciones multimedios obtendrían también enormes ventajas.

Pero ha sido muy difícil crear láseres de luz azul para los lectores CD. Se comprenderán las razones si nos fijamos en cómo funcionan estos semiconductores. Los láseres de los CD o CD-ROM son diminutos cristales de suma perfección, elaborados a nivel atómico, que están divididos en dos regiones de distinto carácter eléctrico. En una de ellas, llamada de tipo *n*, los electrones están en exceso y crean una corriente eléctrica. En la otra región, la de tipo *p*, abundan los llamados huecos, es decir, partículas positivas que señalan la ausencia de electrones. Cuando se aplica una tensión positiva a la región *p* y una tensión negativa a la región *n*, los electrones y los huecos corren a encontrarse.

Las partículas se reúnen en una delgadísima trinchera, una tierra de nadie llamada pozo cuántico. Ahí se recombinan y aniquilan entre sí emitiendo, en condiciones favorables, fotones, que son las mínimas porciones de luz existentes. Si se acopla a la emisión un mecanismo de realimentación —un par de espejos muy reflectantes embebidos en el dispositivo para “reciclar” los fotones—, se produce el efecto láser: todos los fotones son coherentes y aportan sus excepcionales cualidades al agudo haz luminoso resultante.

La energía de los fotones, asociada a la longitud de onda de la luz emitida, viene determinada por un patrón electrónico fundamental: el salto energético entre bandas o, en términos vulgares, la “elasticidad electrónica” del material semiconductor en el que se produzca la recombinación. Para láseres de diodo de GaAs tal energía ronda 1,45 electronvolts. Pero la producción de luz en la gama del azul exige elevar casi al doble esta barrera energética. Por ello hay que recurrir a otra clase de semiconductores, los llamados de salto de banda ancho, como son el seleniuro de zinc (ZnSe), compuesto de los grupos II-VI del sistema periódico, y el nitruro de galio (GaN), de los grupos III-V. Debería llamarse a estos materiales más bien semiaislantes, con lo que quedaría más claro un problema esencial que plantea su empleo en dispositivos eléctricos.

A principios de los años ochenta se empezó a intentar la formación de cristales de semiconductor II-VI por una técnica llamada epitaxia de haz molecular, consistente en ir “fumigando” sobre un sustrato los diferentes elementos atómicos constitutivos, todo ello dentro de una cámara de vacío ultraelevado. Se forma así una especie de “rascacielos” atómico; el proceso se asemeja a levantar ladrillo por ladrillo un edificio, con precisión atómica en este caso. Este método posibilitó que se idearan con presteza “materiales de diseño” de gran calidad cristalina, obteniéndose además una mejor comprensión de cómo trabajan las capas de los pozos cuánticos y de cómo algunos rebuscados materiales artificiales pueden emitir fotones azules y verdes. (La longitud de onda de

ROBERT L. GUNSHOR y ARTO V. NURMIKKO llevan doce años colaborando. Gunshor es profesor de microelectrónica en la Universidad Purdue. Nurmikko es profesor de ingeniería y física en la Universidad Brown y dirige el centro de investigación de materiales avanzados de dicha institución.