



COMISIÓN
EUROPEA

Investigación comunitaria

La nanotecnología

Innovaciones para el mundo del mañana



NANOTECNOLOGÍAS Y NANOCIENCIAS, MATERIALES
MULTIFUNCIONALES BASADOS EN EL CONOCIMIENTO Y
NUEVOS PROCESOS Y DISPOSITIVOS DE PRODUCCIÓN

Si está usted interesado en la investigación europea

le recomendamos RTD info, nuestra revista trimestral, para estar al corriente de las principales novedades (resultados, programas, actividades, etc.). RTD info se publica en inglés, francés y alemán. Para pedir un ejemplar u obtener una suscripción gratuita pueden dirigirse a:

Comisión Europea
Dirección General de Investigación
Unidad de Información y Comunicación
B-1049 Bruselas
Fax (32-2) 29-58220
Dirección de correo electrónico: research@cec.eu.int
Internet: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html

Editor: COMISIÓN EUROPEA

Dirección General de Investigación
Dirección G: Tecnologías industriales
Unidad G.4: Nanociencias y nanotecnologías

Contacts: Dr. Renzo Tomellini, Dr. Angela Hullmann

E-mails: renzo.tomellini@cec.eu.int, angela.hullmann@cec.eu.int

Url: www.cordis.lu/nanotechnology

La nanotecnología

Innovaciones para el mundo del mañana

Este folleto tiene su origen en un proyecto del Ministerio de Educación e Investigación de Alemania (BMBF), que fue realizado por la Asociación alemana de Ingenieros – Centro de Tecnología (VDI-TZ). La COMISIÓN EUROPEA agradece al BMBF que le haya permitido traducir esta publicación y ponerla a disposición del público europeo. Queremos expresar nuestro especial agradecimiento a la Dr. Rosita Cottone (BMBF) y al Dr. Wolfgang Luther (VDI-TZ) por su asistencia en la coordinación.



Para la versión original alemana, véase <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>.

Publicado por: COMISIÓN EUROPEA, DG Investigación

Producido por: Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin

Coordinación: Future Technologies Division, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

Autor: Mathias Schulenburg, Cologne

Composición: Suzy Coppens, BergerhofStudios, Cologne

*Europe Direct es un servicio que responde a consultas
sobre la Unión Europea*

**Número de teléfono gratuito:
00800 6 7 8 9 10 11**

AVISO JURÍDICO:

Ni la COMISIÓN EUROPEA ni ninguna persona que actúe en su nombre serán responsables de la utilización que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación.
Las opiniones manifestadas en el presente folleto son responsabilidad exclusiva del autor y no expresan necesariamente el punto de vista de la COMISIÓN EUROPEA.

En Internet puede encontrarse abundante información complementaria sobre la Unión Europea, a la que puede accederse a través del servidor Europa (<http://europa.eu.int>).

Al final de esta publicación figuran una serie de datos sobre catalogación.

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2004

ISBN 92-894-8886-7

© Comunidades, 2004

Se autoriza la reproducción siempre y cuando se haga constar la fuente.

Printed in Belgium

IMPRESO EN PAPEL BLANCO SIN CLORO

Prólogo

La nanotecnología es un nuevo planteamiento centrado en la comprensión y el dominio de las propiedades de la materia a escala nanométrica: un nanómetro (la mil millonésima parte de un metro) viene a ser la longitud de una pequeña molécula. A esta escala, la materia ofrece propiedades diferentes y, muchas veces, sorprendentes, de tal manera que las fronteras entre las disciplinas científicas y técnicas establecidas a menudo se difuminan. De ahí el fuerte carácter interdisciplinario inherente a la nanotecnología.

Con frecuencia se dice que la nanotecnología es potencialmente “disruptiva” o “revolucionaria” por sus efectos en los métodos de producción industrial. Se trata de una tecnología que ofrece posibles soluciones a muchos problemas actuales mediante materiales, componentes y sistemas más pequeños, más ligeros, más rápidos y con mejores prestaciones. Lo que permite generar nuevas oportunidades de creación de riqueza y empleo. También se considera que la nanotecnología puede hacer una aportación esencial a la solución de problemas medioambientales de carácter mundial por el desarrollo de productos y procesos más ajustados a usos específicos, el ahorro de recursos, y la disminución de emisiones y residuos.

Actualmente, se están haciendo enormes progresos en la carrera nanotecnológica mundial. En Europa se empezó ya a invertir en programas de nanotecnología a partir del período que va de mediados a finales de la década de los 90. Lo que ha permitido crear una fuerte base de conocimientos, y ahora hay que asegurar que la industria y la sociedad europeas recojan los frutos de esta labor mediante el desarrollo de nuevos productos y procesos.

La nanotecnología es el tema de una reciente Comunicación de la Comisión (“Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías”). En ella, se propone no sólo impulsar la investigación en nanociencias y nanotecnologías sino, además, tener en cuenta varias otras dinámicas interdependientes:

- Es necesaria una mayor coordinación de la inversión y los programas de investigación nacionales para que Europa cuente con equipos e infraestructuras (“polos de excelencia”) que puedan competir a nivel internacional. Al mismo tiempo, es esencial la colaboración entre los organismos de investigación del sector público y privado de toda Europa, para alcanzar una masa crítica suficiente.
- No hay que descuidar otros factores de competitividad, como una metrología, una reglamentación y unos derechos de propiedad intelectual adecuados, a fin de preparar el camino para que la innovación industrial sea una realidad y genere ventajas competitivas, tanto para las grandes como para las pequeñas y medianas empresas.
- Son de gran importancia también las actividades relacionadas con la educación y la formación; en particular, existe un margen para mejorar la actitud empresarial de los investigadores, así como la buena disposición de los ingenieros de producción respecto al cambio. Por otra parte, la realización de una verdadera investigación interdisciplinaria en el área de la nanotecnología requiere nuevos planteamientos de educación y formación aplicables tanto a la investigación como a la industria.
- Los aspectos sociales (como la información y la comunicación al público, las cuestiones sanitarias y medioambientales, y la evaluación del riesgo) son otros tantos factores clave para asegurar el desarrollo responsable de la nanotecnología y la satisfacción de las expectativas de los ciudadanos. La confianza del público e inversores en la nanotecnología será crucial para su desarrollo a largo plazo y para su aplicación de manera fructífera.

La finalidad de este folleto es mostrar qué es la nanotecnología y qué puede ofrecer a los ciudadanos europeos.

Ezio Andreta
Director de “Tecnologías Industriales”
Dirección General de Investigación
COMISIÓN EUROPEA



Índice

3 Prólogo

4-5 Índice

Viaje al nano-cosmos

6-7 El átomo: viejas ideas y nuevas realidades

8-13 La nanotecnología en la naturaleza

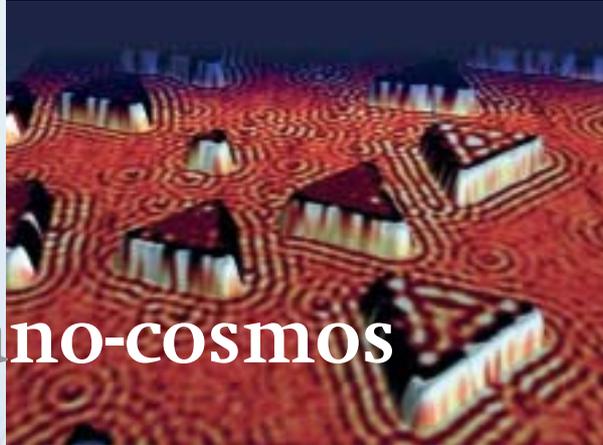
Instrumentos y procesos

14-15 Ojos para el nanocosmos

16-17 Instrumentos de escritura

18-19 Nuevos impulsos para la ciencia

20-21 Diseño de materiales a escala nanométrica



Nanotecnología para la sociedad



- 22-27 **El mundo en red: la nanoelectrónica**
- 28-29 **La nanotecnología en la vida cotidiana del futuro**
- 30-33 **La movilidad**
- 34-37 **La salud**
- 38-41 **La energía y el medio ambiente**
- 42-43 **Nanotecnología para el deporte y el ocio**

44-45 Visiones

46-47 Oportunidades y riesgos

Información complementaria



- 48 **La carrera de nanoingeniero**
- 49 **Contactos, enlaces, referencias bibliográficas**
- 50-51 **Glosario**
- 52 **Imágenes**

Viaje al nanocosmos

El átomo: viejas ideas y nuevas realidades

Amedeo Avogadro (1776-1856), profesor de Física en Turín, fue el primer hombre que consiguió contar las gotas de agua.



Nuestro mundo material está compuesto de átomos. Ésta era la tesis que el filósofo griego Demócrito sostenía hace ya más de 2.400 años. Los griegos modernos le han mostrado su agradecimiento estampando su efigie en las monedas de 10 dracmas, que están muy extendidas, aunque no tanto como los átomos. Una sola gota de agua contiene alrededor de 1.000.000.000.000.000.000 de átomos, ya que estos son minúsculos: su tamaño sólo es de un décimo de un nanómetro, y un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro.



La relación entre el diámetro de un átomo de magnesio y el de una bola de tenis es la misma que entre una bola de tenis y la Tierra. ¡Quién lo diría cuando uno se toma una pastilla de magnesio!

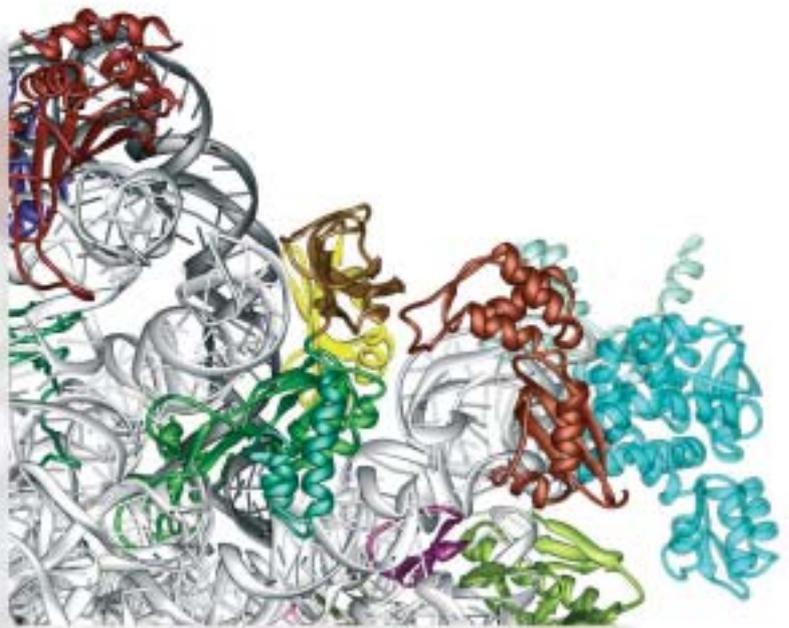


El espíritu de Demócrito planea sobre el universo nanométrico, un mar de posibilidades infinitas.

Algunos siglos más tarde, el escritor romano Lucrecio compuso un poema sobre los átomos: “El universo consiste en un espacio infinito y un número infinito de partículas irreducibles, los átomos, cuya variedad es también infinita... Los átomos varían sólo en la forma, el tamaño y el peso; son impenetrablemente duros e inalterables, son el límite de la divisibilidad física...” Todo eso estaba muy bien, pero no dejaba de ser pura teoría. Durante mucho tiempo, no se prestó más atención a la cuestión.

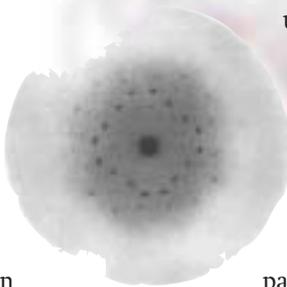
En el siglo XVII, Johannes Kepler, el famoso astrónomo, estudió los copos de nieve y publicó sus ideas en 1611: la forma regular de los copos sólo podía deberse a la unión de bloques simples e idénticos. La idea del átomo se puso de nuevo en primer plano.





La estructura de las nanomáquinas biológicas como el ribosoma pueden ser descifradas cristalográficamente por Ada Yonath, DESY Hamburg.

Los científicos que trabajaban con minerales y cristales estaban cada vez más convencidos de la existencia de los átomos. Sin embargo, hubo que esperar a 1912 para tener una prueba directa, cuando en la universidad de Munich se comprobó que un cristal de sulfato de cobre dividía una luz de rayos X de la misma manera que el material de un paraguas divide la luz de una linterna: el átomo tenía que estar en una estructura ordenada como la trama del paraguas o una pila de naranjas en un mercado.



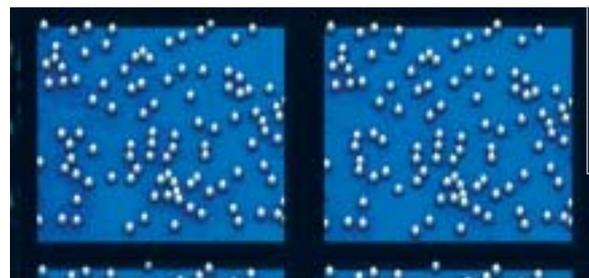
La razón por la que los átomos en el cristal se disponen tan regularmente es simple. La materia se agrupa de la manera más cómoda posible, y más cómoda es una estructura regular. Incluso las nueces agitadas en un cuenco forman modelos regulares, y este proceso es incluso más fácil para los átomos.



Los aparatos de análisis modernos han podido hacer visibles estos componentes de la materia viva, enormemente complejos, a una escala nanométrica.

En los años 80, se creó un aparato, conocido como el microscopio de barrido de efecto túnel, que no sólo puede mostrar los distintos átomos de un cristal, cosa que mucha gente consideró era un engaño en las primeras imágenes, sino que también puede desplazarlos.

¡Había sonado la hora de la nanotecnología!



El profesor Berndt de Kiel ha utilizado átomos de manganeso para reproducir el logo de la Universidad Christian-Albrechts.



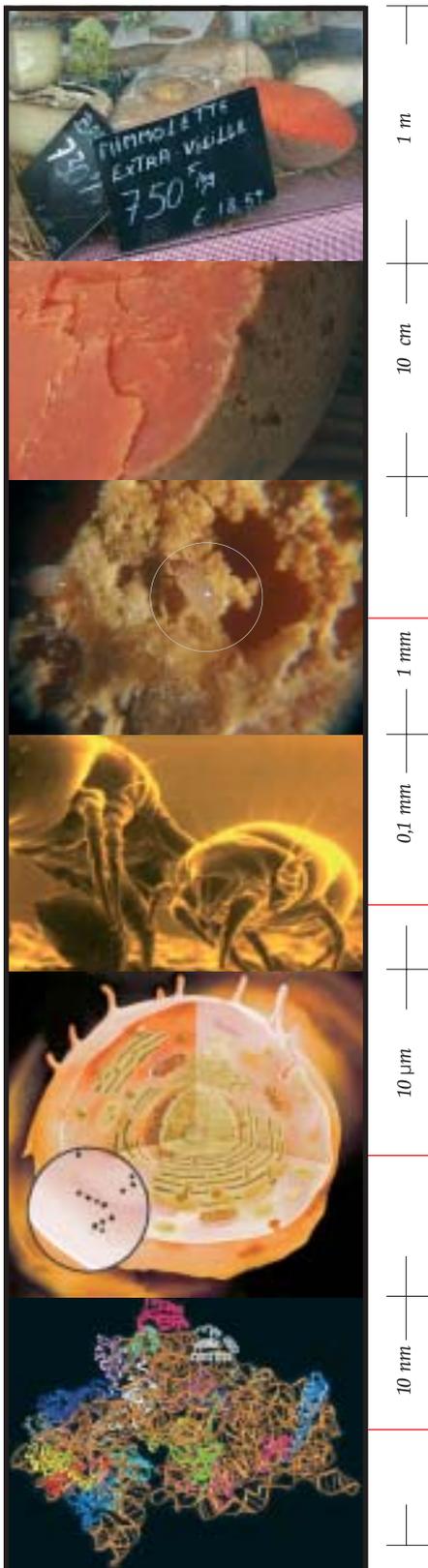
Sin embargo, los modelos simples no son siempre los más fáciles de reproducir. Impulsada por fuerzas que tienden a crear una estructura ordenada, la materia de la Tierra ha adoptado, a lo largo de miles de millones de años, formas fantásticamente complejas, en algunos casos formas vivas.

La nanotecnología en la naturaleza

nanocosmos

Los nanotecnólogos le tienen mucho cariño a la naturaleza viva. En los cuatro mil millones años de su existencia, la naturaleza ha encontrado algunas soluciones sorprendentes a sus problemas. Por ejemplo, una característica frecuente es que la materia viva se estructura al nivel de detalle más fino, hasta el nivel del átomo. Eso es precisamente lo que también quieren hacer los nanotecnólogos.

Viaje al



Los átomos no tienen buena reputación. Cuando oímos hablar de átomos, tendemos a pensar en explosiones terribles o radiaciones peligrosas. Pero eso sólo tiene que ver con las tecnologías que se refieren al núcleo atómico. La nanotecnología se refiere a las capas externas del átomo, ésta es la escala en que la nanotecnología entra en el juego.

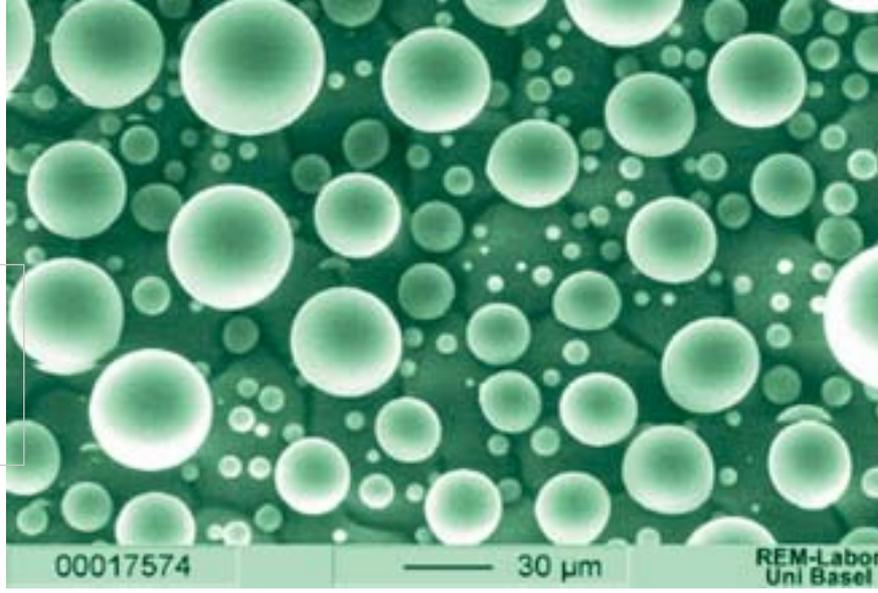
Para despejar cualquier duda de que los átomos son algo cotidiano, que evoca incluso imágenes apetitosas, tomemos como punto de partida, para nuestro viaje al nanocosmos, un queso: el Mimolette.

Este queso es un producto de Flandes cuyos minúsculos agujeros nos dicen que está habitado. Con gran satisfacción de los productores, la actividad de los ácaros mejora el aroma del Mimolette. Los ácaros tienen un décimo de un milímetro de tamaño. El ESEM, un microscopio electrónico de barrido ambiental, puede ver incluso ácaros vivos. Como otros organismos vivos, los ácaros están también compuestos de células. La escala de la célula es el micrómetro. Las células poseen una maquinaria enormemente compleja. Un componente importante de esta maquinaria son los ribosomas, que producen todas las posibles moléculas proteínicas según las instrucciones contenidas en el material genético de la célula (DNA). El tamaño de los ribosomas es de 20 nanómetros. Actualmente se han podido distinguir partes de la estructura de los ribosomas a la escala del átomo. Los primeros frutos de este tipo de nanobiotecnología son los nuevos medicamentos que bloquean los ribosomas bacterianos.



La flor de loto limpia sus hojas con la ayuda del denominado efecto de loto.

Gotitas de agua en una hoja de berro, visualizadas con la ayuda del microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM) de la Universidad de Basilea.

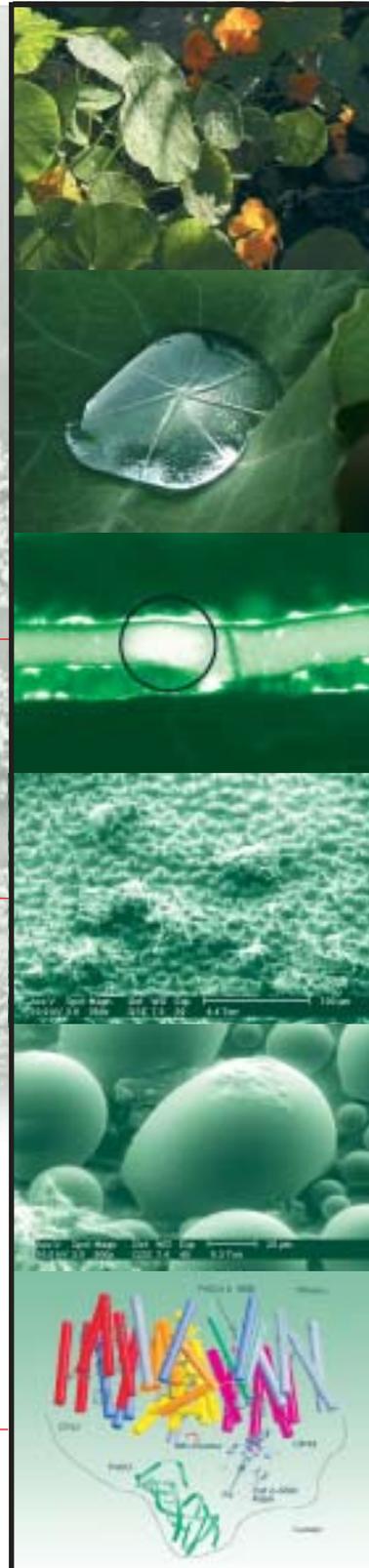


El efecto de loto y Cia.

El berro mantiene sus hojas limpias con la ayuda del efecto de loto. El microscopio electrónico de barrido ambiental ESEM muestra cómo las gotitas de agua se escurren de la superficie de la hoja. Eso se debe a la superficie vellosa de las hojas que hace que se formen gotas, que se deslizan a alta velocidad llevándose con ellas la suciedad. El efecto de loto, investigado ampliamente por el profesor Barthlott y sus colaboradores de la Universidad de Bonn, se ha utilizado ya en una gama de productos, como pinturas de exterior sobre las que el agua se desliza arrancando la suciedad. La cerámica sanitaria que utiliza el efecto de loto es muy fácil de mantener limpia.

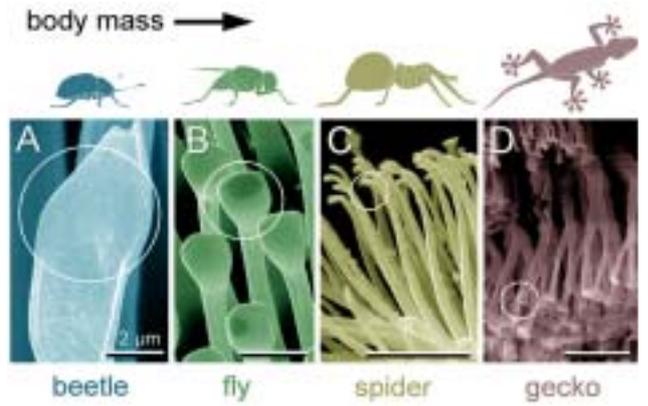
Las hojas de las plantas también hacen uso de otros tipos de nanotecnología. Su sistema de regulación del agua está controlado a menudo por forisomas, músculos de tamaño microscópico, que abren canales en el sistema capilar de la planta, o los bloquean si ésta se lesiona. Actualmente, tres institutos Fraunhofer y la Universidad de Giessen están intentando aprovechar estas características de los músculos de las plantas para aplicaciones técnicas, como motores lineales microscópicos, quizás para un laboratorio-en-un-chip.

Otra de las tecnologías más refinadas a escala atómica es el proceso de fotosíntesis, que capta la energía necesaria para la vida en la tierra. El proceso se realiza a nivel de cada átomo. Quien pueda copiar este proceso mediante la nanotecnología tendrá energía ilimitada eternamente.



La nanotecnología en la naturaleza

Viaje al nanocosmos



Nanotecnología en el techo: la salamanesa

Las salamansas pueden desplazarse por cualquier pared, correr cabeza abajo por el techo e incluso colgar de una sola pata. Eso se hace, naturalmente, con la ayuda de la nanotecnología. El pie de la salamanesa está cubierto de pelos muy finos, que son tan adaptables que pueden acercarse a algunos nanómetros de la superficie cubriendo zonas muy amplias. De esta manera entra en acción el llamado enlace Van-der-Waals y, a pesar de que en realidad es muy débil, sostiene el peso de la salamanesa debido a millones de puntos de adherencia. Los enlaces pueden romperse fácilmente mediante un procedimiento de “pelado”, de la misma manera que se retira una tira de cinta adhesiva, permitiendo que la salamanesa corra a lo largo del techo. Los especialistas en materiales están ya ilusionados con la posibilidad de producir “salamanesina” sintética.

Los escarabajos, las moscas, las arañas y las salamansas han revelado parte de los secretos de su capacidad de aferrarse a las paredes en el Max Planck-Institut für Metallforschung de Stuttgart: se adhieren mediante pelos minúsculos que forman un enlace Van-der-Waals con la superficie. Cuanto más pesado es el animal, más finos y numerosos son los pelos.

concentración, las células de las paredes de los vasos sanguíneos y los leucocitos segregan moléculas adhesivas que retrasan la circulación de los leucocitos a lo largo de las paredes de los vasos sanguíneos debido a este efecto adhesivo. Al nivel máximo de feromona, los leucocitos se adhieren firmemente; entonces otras moléculas adhesivas llevan estos corpúsculos de sangre a través de la pared del vaso al punto de la picadura, donde atacan a cualquier intruso: el arte de la adherencia llevado a la perfección. Ahora se están investigando imitaciones nanotecnológicas de este proceso denominadas “enlace a voluntad” (“bonding on command”).

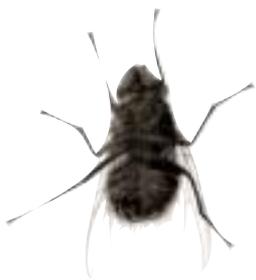


Aferrarse a la vida

La vida existe porque sus componentes se mantienen unidos por métodos complejos de adherencia de tipo nanotecnológico. Lo vemos, por ejemplo, en las lesiones, como una picadura de mosquito: la picadura se vuelve roja porque se cubre de minúsculos vasos sanguíneos a través de los cuales fluyen enjambres de leucocitos. Las células de la zona de la picadura segregan una feromona. Según su

Los mejillones, artistas de la adherencia

El mejillón común, como el que nos sirven con verduras en el restaurante, es un maestro en el arte de la adherencia gracias a la nanotecnología. Cuando quiere aferrarse a una roca, abre su concha y saca el pie apoyándolo en la roca, lo arquea para formar una ventosa y, a través de minúsculos canales, inyecta en la zona de baja presión una corriente de gotitas adhesivas, micelas, que estallan liberando un potente pegamento subacuático. Éste crea inmediatamente una espuma que forma un pequeño cojín. El mejillón entonces se ancla a este amortiguador con filamentos bisales elásticos, soportando así el zarandeo de las olas.



Primer plano de la pata de una mosca



Mejillón con filamentos bisales y pie.



El Instituto Fraunhofer IFAM de Bremen está investigando los adhesivos modificados de mejillón, con los cuales espera hacer irrompible en los lavaplatos incluso la porcelana más fina. El grupo de trabajo de “nuevos materiales y biomateriales” de Rostock y Greifswald también está trabajando en este campo.

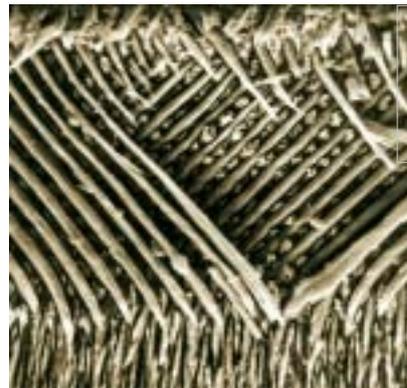
La biomineralización

Los mejillones son capaces de mucho más. Su nácar consiste en innumerables cristales minúsculos de piedra caliza del tipo aragonita, que separados serían muy frágiles. En el mejillón, sin embargo, se mantienen unidos por proteínas muy elásticas en forma de tornillo. Un tres por ciento en peso de proteína basta para hacer la concha del abalón u oreja de mar tres mil veces más dura que un cristal puro de calcita. Los erizos de mar también utilizan esta técnica para reforzar sus pinchos de 30cm de longitud de modo que resistan el embate de las olas.

La biomineralización también puede crear estructuras muy delicadas. En una pequeña zona del mar cerca de las Filipinas vive una esponja conocida por “canasta de flores de Venus”. Esta criatura es curvilínea como la vaina de un puñal turco, pero circular a lo largo de su eje. La esponja debe su nombre a la estructura de su esqueleto interno. Éste consiste en un tejido de agujas finas de sílice, perforado como el respaldo de mimbre de una silla, que forma una trama tanto en ángulo recto como en diagonal. La canasta de flores de Venus se considera una obra maestra de la biomineralización: primero, las células de la esponja se unen en capas extrafinas mediante bloques minúsculos de

sílice (dióxido de silicio) de tres nanómetros de diámetro y, luego, estas capas se enrollan para formar las agujas de sílice, el elemento básico de la trama, que puede soportar fuertes variaciones de presión.

La canasta de flores de Venus: esta esponja de alta mar se está estudiando actualmente como modelo biológico para la fibra óptica.

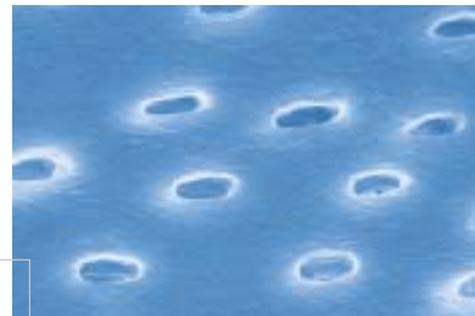


La red biomineral tridimensional del esmalte de las muelas del campañol impide las fracturas.



Biomíneralización técnica: las nanopartículas reparan los dientes.

Si los dientes son muy sensibles a alimentos fríos o cuando duelen en contacto con alimentos amargos se debe generalmente a los pequeños canales del esmalte del diente, los túbulos de la dentina abiertos. Estos canales pueden cerrarse diez veces más deprisa con las nanopartículas de la empresa SusTech compuestas de fosfato cálcico (apatita) y proteína, que con los compuestos convencionales de apatita. La capa de material mineralizada se comporta en la boca igual que el propio esmalte del diente.



La nanotecnología en la naturaleza

Viaje al nanocosmos

Antiguamente la biomineralización de las diatomeas tenía gran importancia estratégica. Estas criaturas microscópicas se protegen mediante un blindaje de ácido silíceo, cuyo componente principal es el dióxido de silicio (SiO_2). Como el vidrio de cuarzo, que también consiste en dióxido de silicio, las capas de ácido silíceo son también relativamente resistentes a muchas soluciones ácidas y alcalinas corrosivas, por eso los expertos en nanotecnología esperan utilizarlas como recipientes de reacción para cristales de algunos nanómetros de tamaño. Un truco para crear nanopartículas mediante una reacción química es limitar el volumen de reacción. Cuando se agota el material de la reacción, los cristales creados salen pequeños. Las diatomeas contienen muchos de estos poros nanométricos o nano-reactores.

¿Cómo se crean estas diatomeas, a veces muy artísticas? Las primeras respuestas a esta pregunta las conocemos ya. Unos investigadores de la Universidad de Ratisbona han descubierto que los componentes de un conocido grupo proteínico, las poliaminas, pueden producir, a la concentración correcta de ácido silíceo, nanopartículas con un diámetro controlable de entre 50 y 900 nanómetros, de manera totalmente espontánea, impulsadas por la tendencia automática a formar estructuras ordenadas. De manera igualmente espontánea, se producen las conchas de ácido silíceo siguiendo modelos de crecimiento simples.

¿Por qué tendrían las diatomeas “importancia estratégica”? En 1867, el sueco Alfred Nobel descubrió que la tierra de infusorios, tierra de depósitos fósiles de diatomeas, absorbía la nitroglicerina, inhibiendo así la tendencia de este explosivo a detonar espontáneamente. Nobel dio a esta mezcla el nombre de “dinamita”, cuyo éxito de ventas sentó las bases para la fundación que financia hoy los Premios Nobel.

Las diatomeas, semejantes a una “esponja Menger” (véase arriba y también la página 21), tienen estabilidad máxima con el peso más bajo debido a sus formas óptimas y, probablemente, sistemas de captación de la luz para sus aparatos de fotosíntesis, los cloroplastos.



La estrella de mar *Ophiocoma wendtii* está equipada de un sistema perfecto de microlente para visión óptica. Arriba: aspecto durante el día, y abajo: aspecto durante la noche.



Blindaje y microlente al mismo tiempo.

Nanotecnología en la naturaleza: La *Ophiocoma wendtii*, una “estrella de mar peluda” del tamaño de un plato ha sido durante mucho tiempo un enigma. Este organismo, de cuyo cuerpo acorazado en forma de disco salen cinco brazos, se apresura a esconderse cuando se le acercan posibles enemigos, aunque al parecer no tenga ningún ojo. Finalmente, se han encontrado estos ojos en el esqueleto del animal, que está tachonada por todas partes de campos perfectos de microlentes, de tal manera que el cuerpo entero de la estrella se convierte en un ojo complejo. ¿Dónde está aquí la nanotecnología? La nanotecnología está en que las lentes cristalizan de tal manera que no se produce una imagen doble, como sería característico de la calcita, tenemos así un control de la cristalización a escala nanométrica. También se corrige la “aberración esférica” de las lentes mediante la adición sutil de magnesio, para evitar franjas indeseables de color. El *Ophiocoma* por lo tanto utiliza los refinamientos nanotecnológicos que hicieron famoso a Carl Zeiss.



El Institut für Neue Materialien (INM) de Saarbrücken ha desarrollado procesos a base de nanopartículas para aplicar a los componentes de metal hologramas no falsificables y resistentes al desgaste.



He aquí algo que ni siquiera la naturaleza puede hacer: cerámica tratada con nano-hollín para sistemas de ignición por incandescencia resistentes a la corrosión, por ejemplo para calentadores de gas. La conductividad ajustable de la cerámica evita la necesidad de un transformador.

Explorando los límites de la naturaleza

La nanotecnología se basa en la naturaleza en estado puro; sin embargo, las posibilidades de la materia viva son limitadas, por ejemplo, no soporta altas temperaturas, como la cerámica o los conductores metálicos. En cambio, las tecnologías modernas permiten crear condiciones artificiales extremas – de pureza, frío o vacío – en las cuales la materia revela algunas propiedades sorprendentes, como, por ejemplo, los efectos cuánticos, que parecen a veces estar en total contradicción con las leyes que rigen nuestra vida cotidiana. De esta manera, las partículas del nanocosmos pueden mostrar a veces las propiedades de las ondas: un átomo, que es, al parecer, una entidad “sólida”, puede pasar al mismo tiempo a través de dos rendijas, como una onda, y aparecer luego entero al otro lado.

Las partículas adquieren propiedades completamente nuevas cuando su tamaño se acerca a un nanómetro. Los metales se convierten en semiconductores o aisladores. Algunas sustancias, como el telururo de cadmio (CdTe), son fluorescentes en el nanocosmos en todos los colores del arco iris, mientras que otras convierten la luz en electricidad.

Cuando las partículas se hacen nanoscópicamente pequeñas, la proporción de átomos en la superficie aumenta considerablemente. Sin embargo,

los átomos de la superficie con frecuencia tienen propiedades distintas de los del centro de la partícula, y generalmente reaccionan más fácilmente. El oro, por ejemplo, se convierte en un buen catalizador para pilas de combustible a escala nanométrica (véase también

“La movilidad”). Las nanopartículas también pueden recubrirse con otras sustancias, de manera que se combinen propiedades diferentes de los distintos materiales, por ejemplo: nanopartículas cerámicas combinadas con recubrimientos orgánicos que reducen la tensión superficial del agua de manera que no se empañen los espejos de los baños.

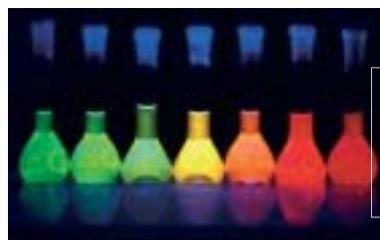
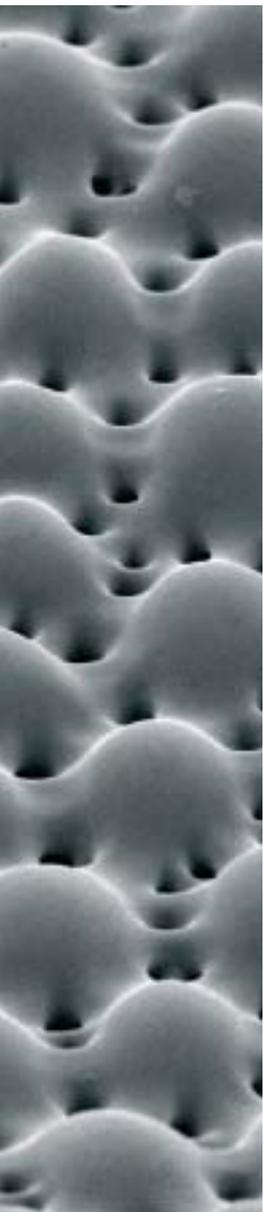
Las nanopartículas de magnetita, un óxido de hierro, recubiertas de un material especial y en aceite crean un ferrolíquido, un líquido al que puede darse forma magnéticamente. Los ferrolíquidos se están utilizando en un número cada vez mayor de aplicaciones, como selladores para sellos rotatorios de contenedores de vacío y cajas de disco duro, o en amortiguadores de vibración ajustables para máquinas y automóviles.

Sin embargo, nadie debe sentirse intimidado por la complejidad de la nanotecnología. Hasta una manzana es complicada – células, ribosomas, ADN –, lo cual no le quita ningún atractivo, puesto que las manzanas son fáciles de manejar, al igual que las buenas nanotecnologías.

Nanopartículas de magnetita en aceite. Se puede controlar y dar forma al líquido magnéticamente.



Bavaricum Magnetotacticum. Las bacterias magnéticas pueden sintetizar cadenas de nanomagnetitas y utilizarlas como la aguja de una brújula.



Las partículas del telururo de cadmio son fluorescentes, el color depende solamente de su tamaño.

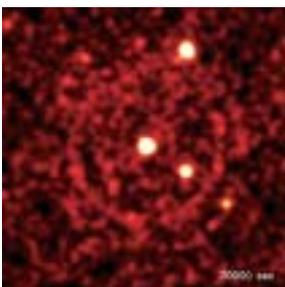
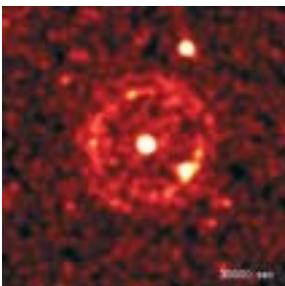
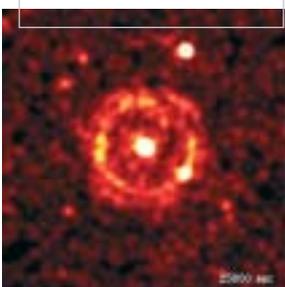
Instrumentos y procesos

Ojos para el nanocosmos



La nanotecnología en el cosmos: los reflectores del telescopio europeo de rayos X "Newton" están pulidos de tal manera que su rugosidad superficial media alcanza los 0,4 nanómetros, permitiéndoles ver fuentes de radiación de rayos X en la galaxia Andrómeda.

Sensación científica: un haz de rayos gamma quema anillos en una nube de polvo galáctica.



¿Qué tiene que ver con la nanotecnología el telescopio de rayos X europeo "Newton"? Este telescopio recoge la radiación de rayos X de objetos distantes con 58 reflectores del tamaño de una papelerita, dispuestos unos dentro de otros como las capas de una cebolla y recubiertos de oro. Los reflectores tienen una desigualdad superficial media de solamente 0,4 nanómetros – una obra maestra de la tecnología a la que contribuyó de manera destacada la empresa Carl Zeiss AG.

Los reflectores de rayos X de precisión para la espectroscopía y la microscopía de rayos X están compuestos de varios cientos de capas de dos elementos pesados diferentes. Las exigencias que tienen que satisfacer tales reflectores son todavía más extremas, por ejemplo, las capas pueden solamente desviarse de la medida ideal en fracciones del diámetro de un átomo. Esta técnica la domina el Fraunhofer-Institut für Werkstoff und Strahltechnik de Dresde.

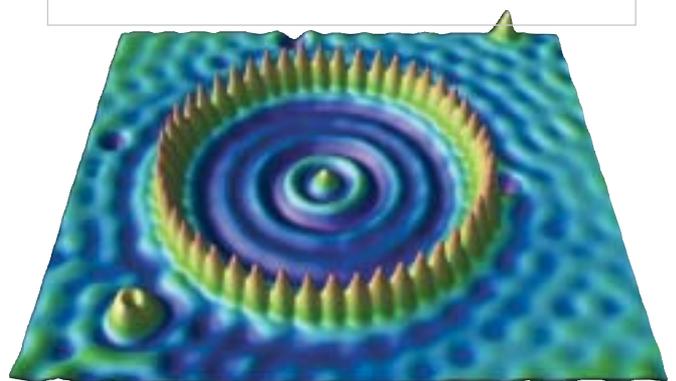
El truco del reflector a capas también ha sido descubierto por la naturaleza para el espectro de la luz visible: el calamar nocturno *Euprymna scolopes* dirige la luz de unas bacterias luminosas hacia abajo

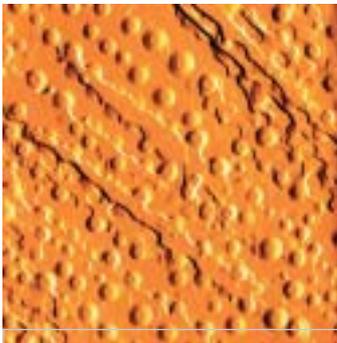
con espejos minúsculos compuestos de proteínas de reflectina, imitando un cielo estrellado para engañar a cualquier depredador que nade debajo de él. Este ejemplo de la nanotecnología biológica se descubrió recientemente en la Universidad de Hawái.

Sondas de barrido

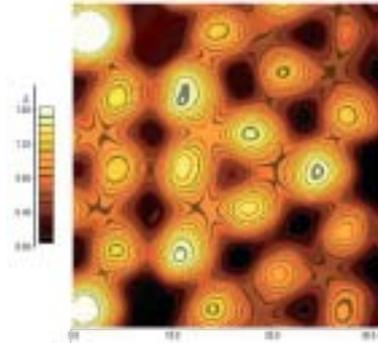
Las sondas de barrido pueden parecer menos espectaculares como ojos para el nanocosmos, aunque, de hecho, sí que lo son: por algo se concedió el Premio Nobel a los inventores del arquetipo de todas las sondas de barrido: el microscopio de barrido de efecto túnel. En las sondas de barrido electrónico,

El "corral cuántico" de Don Eigler, IBM. Las ondas en el interior reflejan la probabilidad de encontrar un electrón.

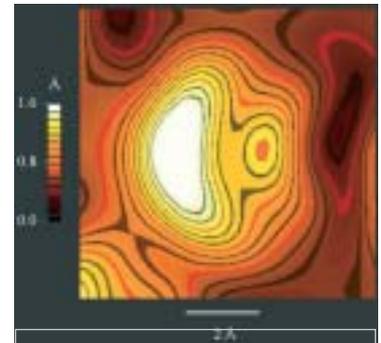




Cristal de bromuro de potasio con terrazas atómicas. La sal en nuestro huevo del desayuno tiene un aspecto parecido.



El silicio de cerca: curvas de densidad de electrones vistas con el microscopio de barrido de fuerza atómica.



El primer átomo de la punta detectora emite dos nubes de electrones, que orbitan tal como se describe en los libros de texto.

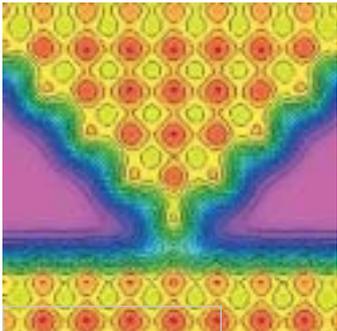
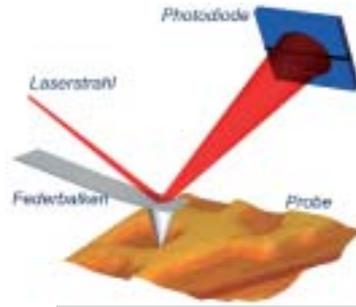


Imagen esquemática de la clásica punta de un microscopio de barrido de efecto de túnel.



El microscopio de barrido de fuerza atómica: mediante un rayo láser se transmite la desviación de la aguja del sensor a una célula fotoeléctrica.

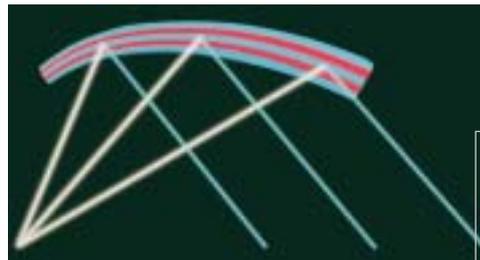


Las sondas "capacitivas" permiten representar los procesos de conmutación que se dan en un chip.

unos cristales piezoeléctricos dirigen el barrido de una punta detector de manera repetida y ligeramente desviada sobre una muestra de interés, como un campo de átomos. Los movimientos son minúsculos y la distancia de la punta al campo de átomos es generalmente menor que el diámetro del átomo. En esta zona, sucede algo: a veces fluye una corriente, a veces se detectan campos magnéticos diminutos. Mediante un ordenador se representan gráficamente estas variaciones sobre una superficie, creando una imagen exacta a escala del átomo, según el principio de medida.

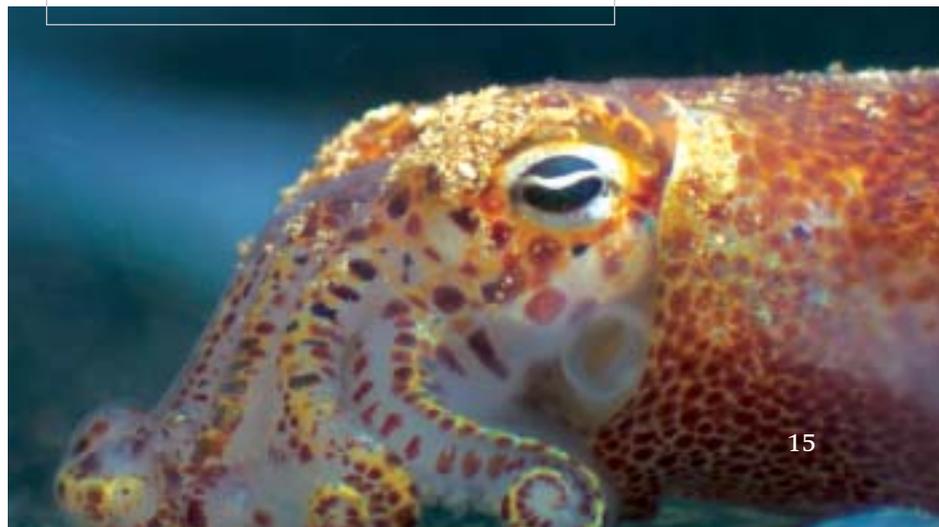
Un proceso especialmente sutil es el utilizado por el microscopio de barrido de fuerza. Éste detecta las

diminutas fuerzas que sobre el primer átomo de la punta ejercen los átomos en el campo atómico. Este proceso puede incluso dar una visión de las capas de electrones de los átomos, revelando así los secretos del nivel último de la materia. La universidad de Augsburgo tiene el record mundial de resolución.

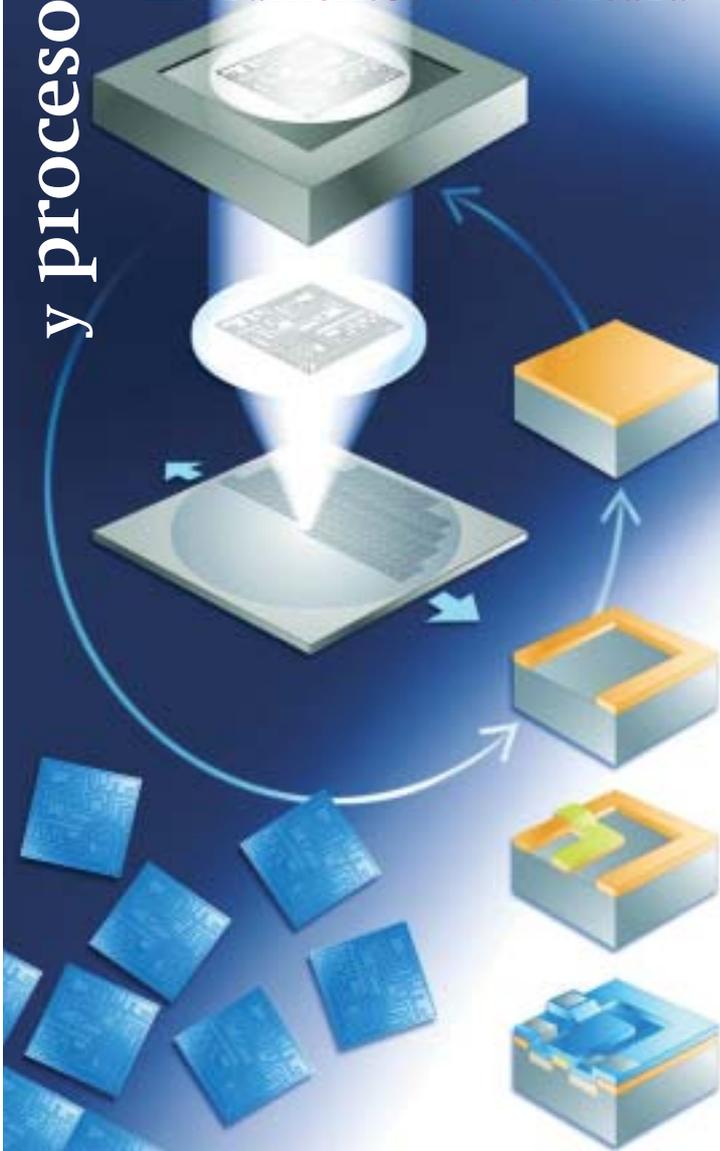


Reflector curvilíneo de varias capas para el análisis de alta precisión mediante rayos X.

El calamar *Euprymna scolopes* confunde a sus enemigos mediante unos reflectores de luz de múltiples de capas compuestos de una proteína: la reflectina. La luz procede de unas bacterias fosforescentes.



Instrumentos de escritura



La litografía

En el mundo de los ordenadores, la litografía es la técnica de producción de microprocesadores con la ayuda de la luz. En este proceso, la superficie pulida de un material semiconductor, una oblea de silicio, se recubre de una capa protectora sensible a la luz sobre la cual se proyecta la imagen de un circuito. El revelado de esta capa protectora muestra las áreas expuestas (o no expuestas) de la oblea, a la que entonces se dan las propiedades eléctricas requeridas mediante procedimientos como el grabado, la implantación iónica y la deposición. La repetición del proceso con nuevas máscaras y circuitos crea finalmente las estructuras más complejas jamás creadas por el hombre: los microprocesadores o chips. Las densidades de los transistores han aumentado actualmente hasta tal punto que en el punto marcado por un lápiz podrían caber medio millón de transistores o más.

El procedimiento de la litografía: Un chip o microprocesador es una estructura tridimensional en que todos los elementos de conmutación se ordenan en distintos niveles. Para un microprocesador moderno y de alto rendimiento son necesarios de 25 a 30 de estos niveles, cada uno de los cuales requiere su propia máscara litográfica. Las estructuras de la máscara son proyectadas sobre la oblea por la luz y el sistema de lentes del "waferstepper", un instrumento similar a un proyector de diapositivas. Cada nueva máscara de un conjunto añade una nueva funcionalidad al microprocesador, aumentando su complejidad.

Los microprocesadores modernos tienen estructuras que son incluso más pequeñas que la longitud de onda de la luz litográfica, para ello se utilizan láseres de fluoruro de criptón con una longitud de onda de 193 nanómetros para crear estructuras de 130 nanómetros de ancho, y pronto de 90, lo cual se consigue con una serie de procedimientos ópticos ingeniosos como los denominados "Optical Proximity Correction" ("corrección de proximidad óptica") y "Phase shifting" ("cambio de fase"). Actualmente se están sentando las bases para la litografía ultravioleta extrema (la litografía EUV), que utiliza longitudes de onda de 13 nanómetros, y que llegará a producir estructuras de solamente 35 nanómetros de anchura en el silicio. Las exigencias que debe cumplir el material de la máscara son extremas: una placa de 10cm de largo sólo puede expandirse unas decenas de nanómetro cuando se calienta a un grado Celsius, es decir, solamente algunos diámetros atómicos. La uniformidad de unos pocos diámetros atómicos que se requiere también se sitúa en los límites de lo posible.

La conversión de Dresde en sede de la electrónica es un éxito de la promoción de la investigación en Alemania. Se han creado alrededor de 16.000 empleos en la región y dado un gran impulso innovador a la toda la economía del país. En los proyectos apoyados por el Ministerio de Investigación alemán (BMBF), 44 socios de la industria e institutos de investigación públicos, incluidas 21 empresas medianas, han desarrollado la norma para el uso futuro de obleas de cristal de silicio de 300 milímetros de diámetro para la producción de circuitos integrados extremadamente complejos. El centro tecnológico de máscaras de Dresde, en donde se trabaja para conseguir futuros microprocesadores nanoelectrónicos, desempeña un papel clave en este campo.



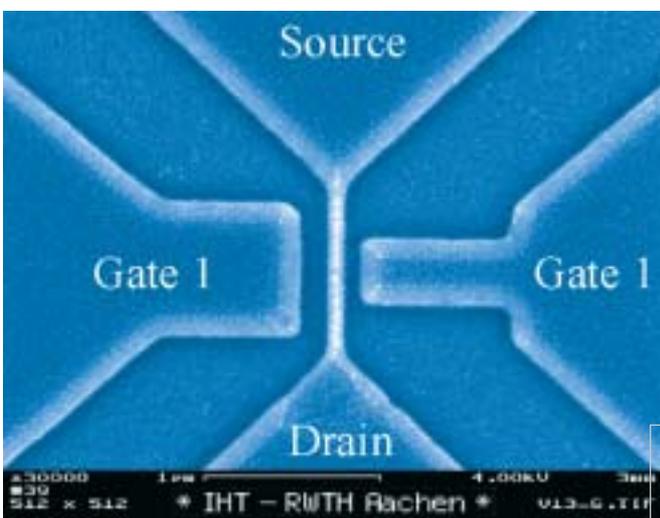
Prototipo de un waferstepper de EUV para la producción de generaciones futuras de microprocesadores.

Nano-impresión para empresas medianas

Cualquiera que piense en la nanoelectrónica probablemente se imagina instalaciones costosas que requieren inversiones de millones o miles de millones de euros pero que proporcionan productos asequibles gracias a su enorme volumen de su producción. Sin embargo, hay también maneras de introducirse en el nanocosmos que están al alcance de las empresas medianas. Estos métodos pueden parecer arcaicos a primera vista: en el método de nano-impresión UV, por ejemplo, las nanoestructuras se estampan de manera puramente mecánica sobre una capa que cubre el material electrónico portador, por ejemplo, el silicio. El cuño que contiene las delicadas nanoestructuras es de vidrio de cuarzo, que es transparente a la luz ultravioleta. Cuando se hunde en la pintura, un impulso de luz ultravioleta hace que la capa sensible a la luz se polimerice, es decir, se endurezca. Entonces se retira el cuño y se diluye el relieve de la capa debajo. El silicio que queda al descubierto puede entonces manipularse a voluntad, repitiendo el proceso muchas veces con diversas

plantillas se crea finalmente la estructura compleja de un microprocesador, con transistores, circuitos etc. En los ensayos de laboratorio se han conseguido ya estructuras mínimas de un tamaño de 10 nanómetros. Este proceso no se limita a los componentes electrónicos sino que puede también utilizarse para estructurar con gran finura metales y plásticos. También podría llegar a producirse el denominado Lab-on-a-Chip (laboratorio en un chip). El coste de una máquina de nano-impresión UV se calcula actualmente en menos de un millón euros, lo cual es una fracción de lo que cuesta el equipo similar utilizado en una fábrica convencional moderna de producción de chips. Sin embargo, la técnica de nano-impresión ultravioleta no proporcionará necesariamente productos más baratos, puesto que la producción es mucho más baja. Para las miniseries especiales –“mini” en comparación con los volúmenes de las grande series que producen los fabricantes de procesadores - la técnica de nano-impresión ultravioleta podría convertirse en la mejor opción.

Zerodur para máscaras de litografía, esta cerámica especial permanece estable incluso a tamaño nanoscópico.



Imprimiendo el nanocosmos: En el Institut für Halbleitertechnik (IHT) de la Universidad RWTH-Aachen, se consiguen ya estructuras de microprocesador de 80 nanómetros de ancho con la ayuda de métodos mecánicos/ópticos. Aplicaciones: circuitos de gran complejidad en pequeñas series.

Nuevos impulsos para la ciencia

Espectrómetro convencional para el análisis de estructuras mediante rayos X. A estos instrumentos se debe en buena medida el conocimiento del nanocosmos que hoy tiene la ciencia.

Hipódromo subterráneo para electrones rápidos.



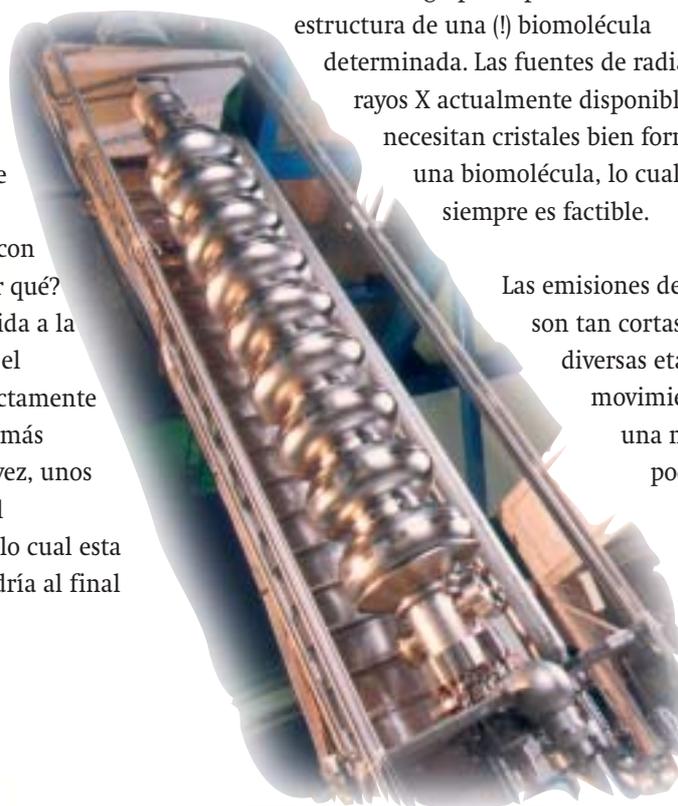
Efectos cuánticos

En la Ludwig-Maximilians-Universität de Múnich se trabaja actualmente con materiales en condiciones nanotecnológicas extremas, en estas condiciones los materiales adquieren propiedades extrañas. Por ejemplo, cuando un vapor de cientos de miles de átomos de rubidio se enfría a un millonésimo de grado por encima del cero absoluto (-273 °C) y se concentra mediante un campo magnético, los átomos se agrupan formando un “condensado Bose-Einstein”, en el que los átomos forman una sola unidad, como soldados en un desfile. Los científicos cuánticos de Múnich pueden estructurar este bloque en una red tridimensional de ondas de láser y manipularlo, por ejemplo haciendo las trampas de luz tan fuertes que la unidad del bloque se rompe formando un “condensado de Mott”. Este trabajo fue recompensado con el Premio Nobel de Física en 2001. ¿Por qué? Porque, este tipo de investigación da vida a la teoría cuántica, y eso es lo decisivo en el nanocosmos. Quien lo comprenda exactamente podría, por ejemplo, preparar normas más exactas de medición del tiempo. A su vez, unos relojes más exactos podrían acelerar el intercambio de datos en Internet, con lo cual esta investigación, al parecer esotérica, saldría al final muy a cuenta.

El láser de rayos X XFEL – una luz esplendorosa para la nanotecnología

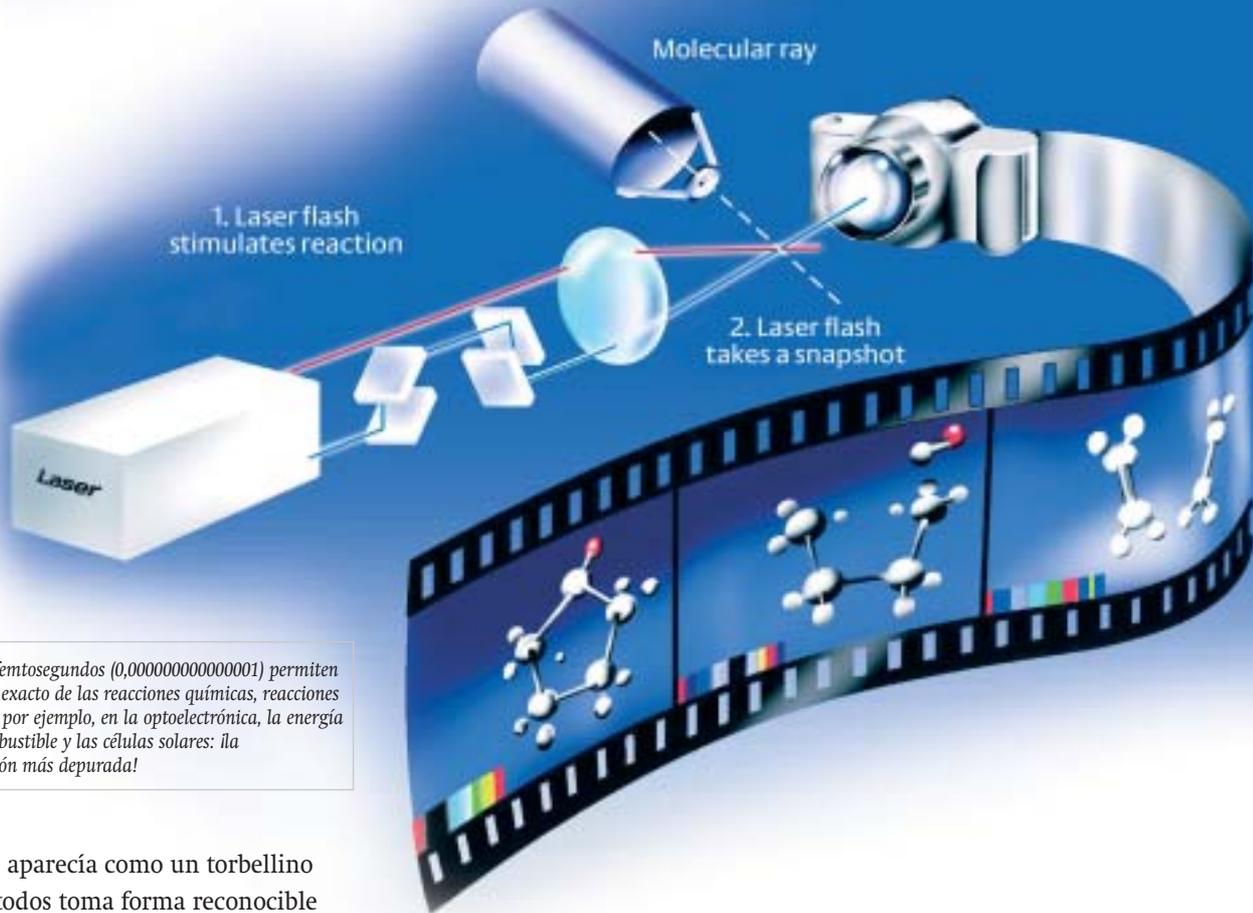
Si todo va según lo previsto, unos miles de millones de electrones van a experimentar algo muy excitante en 2012. Partiendo de las instalaciones del DESY en Hamburgo-Bahrenfeld, estos electrones serán acelerados a una energía muy alta por un acelerador de electrones superconductor, y luego serán sistemáticamente desviados por imanes 3,3 kilómetros más abajo. De este modo se generará una radiación de rayos X de onda corta de un tipo muy especial: una radiación de láser. Esta radiación será la más valiosa que jamás hayan obtenido los científicos. De golpe, se podrá determinar la estructura de una (!) biomolécula determinada. Las fuentes de radiación de rayos X actualmente disponibles necesitan cristales bien formados de una biomolécula, lo cual no siempre es factible.

Las emisiones de rayos X son tan cortas que las diversas etapas del movimiento de una molécula podrán filmarse



Condensado de Mott, materia exótica para la medición ultraexacta de tiempo.

Elementos superconductores para la aceleración de electrones.



Las emisiones de rayos X de femtosegundos (0,000000000000001) permiten seguir y comprender el curso exacto de las reacciones químicas, reacciones que encuentran aplicaciones, por ejemplo, en la optoelectrónica, la energía fotovoltaica, las pilas de combustible y las células solares: ¡la nanotecnología en su expresión más depurada!

correctamente: lo que aparecía como un torbellino borroso con otros métodos toma forma reconocible con la ayuda del láser de rayos X.

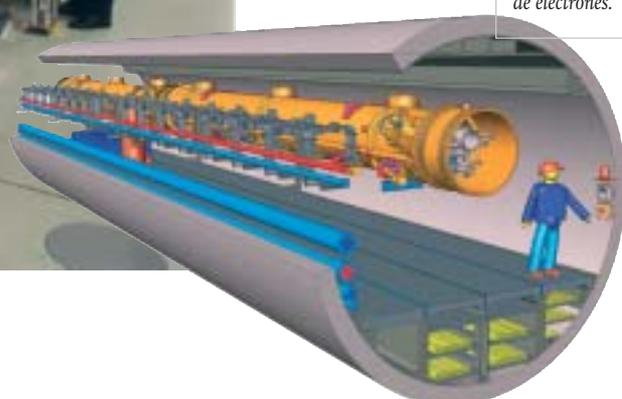
Así podrán descifrarse los secretos de la fricción. Lo que crea la fricción, y cómo, será determinado a partir de agrupaciones nanométricas de apenas cientos de átomos.

Las propiedades de los distintos “clusters”, agrupaciones de apenas cientos de átomos, pueden también investigarse mejor con el XFEL que con

cualquier otro instrumento. En resumen: se dará a la ciencia y la tecnología un impulso potente con el proyecto más importante de Europa en el campo de la nanotecnología. Muy probablemente, se demostrará que los costes globales previstos de 684 millones de euros (situación a 2003), son más que rentables, no sólo en cuanto a la adquisición de conocimientos puros, sino también en dinero contante y sonante.



Láser de electrones libres en construcción.



Aspecto de la pista subterránea de aceleración de electrones.

Diseño de materiales a escala nanométrica

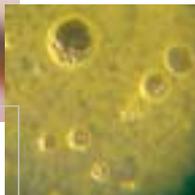
Procesos de sol-gel para nuevos materiales

La salsa bearnesa se creó en honor de Enrique IV, rey de Francia, y se llamó así porque procedía de Béarn. Esta salsa, cuya receta, entre otras, puede encontrarse en www.weltderphysik.de/themen/stoffe/magazin/materie/, representa un ejemplo muy bonito (y muy sabroso) de un sistema coloidal. Se entiende por coloide una sustancia en la cual una multitud de partículas muy finas se encuentra en suspensión estable en otra

La tecnología de sol-gel ofrece centenares de variaciones para numerosos materiales. Los soles gelificados pueden también formar hilos, que cuando se calientan se convierten en fibras cerámicas. También se utilizan para producir polvos nanométricos, que pueden sinterizarse mucho más fácilmente y a temperaturas más bajas que los polvos convencionales, y que pueden soportar las más altas presiones y temperaturas.

Esta tecnología también sirve para la fabricación de componentes ópticos sofisticados como los cables de fibra óptica, los dobladores de frecuencia, y los campos de microlentes. Este tipo de nanotecnología nos promete nada menos que una revolución en las tecnologías de los materiales.

El solvente de un gel puede también bajo ciertas circunstancias retirarse de tal manera que el gel mantenga su volumen original, produciéndose así un material de alta porosidad y de densidad muy baja, un aerogel.

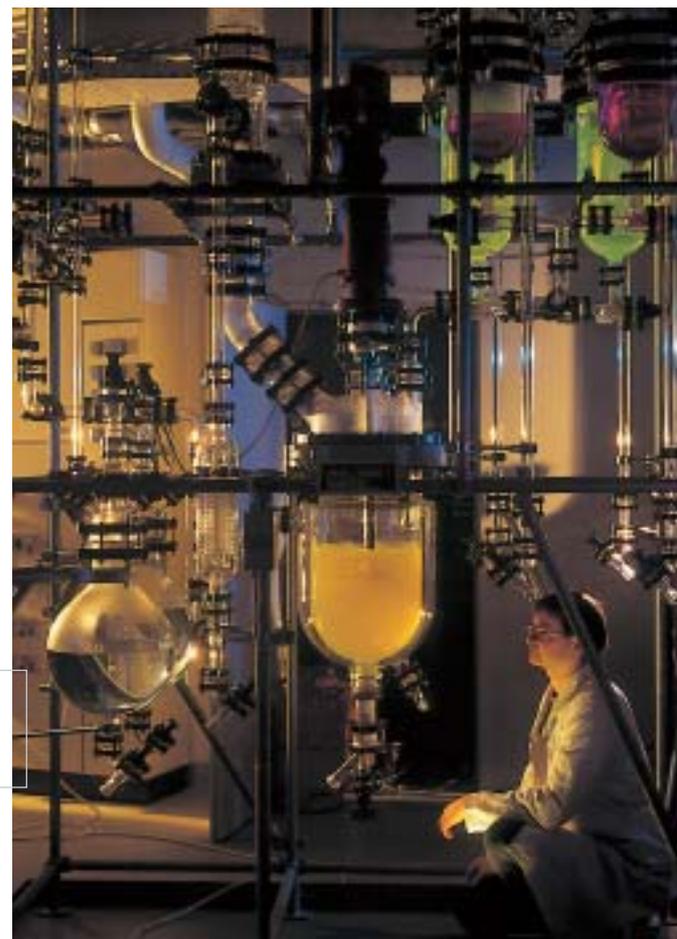


Reactor de partículas de sol-gel: perfectamente adecuado para las partículas más finas.

sustancia estable. En el caso de la salsa bearnesa, se trata de gotitas de vinagre suspendidas en mantequilla derretida. Las cremas y las pinturas son también coloides. Con la tecnología de sol-gel, los coloides se sitúan directamente en el campo de la alta tecnología.

Con esta tecnología se produce un sol (generalmente coloidal) de compuestos solubles como los de silicio, donde las gotitas que contienen silicio se suspenden en una solución portadora. Cuando estos se rocían sobre una placa y se calientan, la solución portadora se evapora y las gotitas de silicio se ordenan en una red y forman un gel. Luego, esta red gelificada se solidifica y forma una capa cerámica dura. La placa queda, de esta manera, protegida contra la corrosión y el rayado.

Sol-gel para un rey: la salsa bearnesa, creada en honor de Enrique IV de Francia.





El doble cristal relleno con un aerogel impide las pérdidas de calor.



Un aerogel que sirve para atrapar el polvo con fines científicos. Las partículas quedan atrapadas firmemente en un compuesto de aerogel fundido.

El cometa "Wild 2" ha sido visitado por un aerogel.



Aerogeles

Los aerogeles son sustancias que encontramos en nuestra vida cotidiana, por ejemplo el merengue que preparan los pasteleros desde tiempos inmemoriales. Este dulce se hace con clara de huevo, que se azucara, se bate y se cuece. Si lo tocamos notaremos calor en los dedos. Eso se debe a que el aire en el merengue está atrapado dentro de millones de burbujas microscópicamente pequeñas. Por eso, no puede circular o no intercambia el calor, de tal manera que el merengue se convierte en un excelente aislador de calor, igual que el poliestireno. Los aerogeles a base de vidrio tipo espuma construidos de forma similar también resultan aisladores de primera clase.

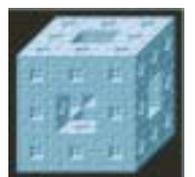
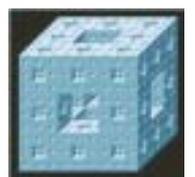
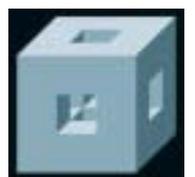
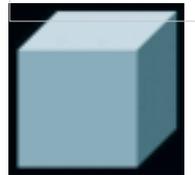
La clara de huevo es incolora, pero el merengue sale blanco. Eso se debe a la compartimentación de la clara de huevo batida en burbujas micrométricas. En estructuras de este tamaño tan minúsculo, la luz se refracta en todos los colores del arco iris, pero el resultado global es blanco. En cambio, los poros de tamaño nanométrico ya no refractan la luz. Por eso, la espuma de vidrio con poros nanométricos es casi tan clara y transparente como el vidrio normal de una ventana. El doble cristal relleno de esta espuma resulta un buen vidrio de ventana con un aislamiento térmico excepcional.

Como tales espumas están compuestas casi exclusivamente de aire, se denominan aerogeles. La denominación "gel" viene del proceso de producción. Para producir un gel, se añade un catalizador a una solución acuosa de un material adecuado, así se crean minúsculas cavidades de paredes muy delgadas, que se unen para crear primero cadenas y luego grupos de cadenas, formando un gel, que, al secarse, se convierte en un aerogel superligero.

El aerogel más viajero ha sido el utilizado en el analizador de polvo CIDA de Hoerner y Sulger GmbH, que en enero de 2004, después de viajar durante cinco años y recorrer una distancia de 3.220 millones de kilómetros, recogió polvo del cometa "Wild 2".

Un material constituido de un gran número de burbujas tiene una gran superficie interna. La mayor superficie interna posible, es decir, infinito, es la de la esponja Menger, por ello su volumen es cero. La esponja existe solamente en las mentes de los matemáticos. La superficie interna real de los aerogeles es, en cualquier caso, bastante grande para producir algunos efectos asombrosos. Un trozo de aerogel a base de carbono del tamaño de un azucarillo puede tener una superficie interna de 2.000 metros cuadrados. Esta y otras propiedades proporcionan a los aerogeles de carbono un lugar seguro en la tecnología energética del futuro. Por ejemplo, pueden utilizarse para construir condensadores con una capacidad de hasta 2.500 faradios, que sirven de acumuladores para los picos de consumo de energía, como los que se dan en un coche eléctrico. Esta espuma genial también permitirá fabricar mejores baterías de litio, nuevos tipos de pilas de combustible, etc. Pocas veces algo de tan poca sustancia ha mostrado un potencial semejante. ¡Típico de la nanotecnología!

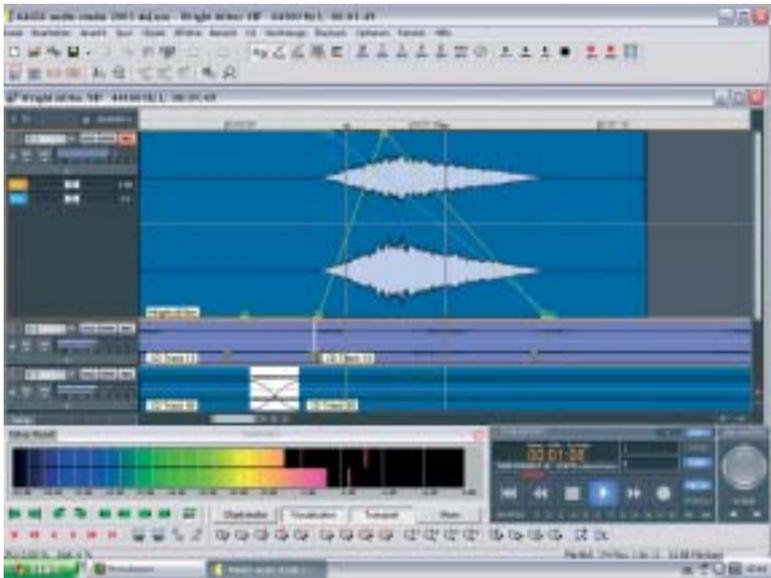
La esponja de Menger sirve a los matemáticos de "curva universal". Ésta se crea cuando se repite infinitamente el procedimiento indicado más adelante.



Nanotecnología para la sociedad

El mundo en red: la nanoelectrónica

Del ordenador portátil en un estudio a los estudios en un ordenador portátil. Estado de la técnica



pasa el micrófono. Todo ello se pone en el programa de sonido, superpuesto en diferentes pistas. El avión vuela de izquierda a derecha, lo cual puede mostrarse con curvas panorámicas. El ronroneo del motor sube y baja, cosa que puede conseguirse con curvas de volumen. Y entonces se ve a Orville Wright, volando de manera muy convincente con el Flyer One sobre las Devil Hills, al igual que el 17 de diciembre de 1903, con el ruido de la resaca y el siseo de la hierba en las dunas de fondo – todo ello en el ordenador portátil. (Otros pioneros de la aviación, como el alemán Gustav Weisskopf, habían volado ya en 1901, aunque no pudieron transformar sus inventos en aplicaciones prácticas.)

Cuando un guionista de radio tiene que hacer un programa de cuatro minutos y medio sobre el primer vuelo de los hermanos Wright, con unas pinceladas de ambiente. ¿Qué es lo que hace, si se lo toma con interés y dispone de un ordenador portátil? Primero echa una ojeada al escenario en el que ocurrieron los hechos. En el globo virtual puede ver la localidad de Kittyhawk situada en una franja de tierra de unos kilómetros de ancho a orillas del Atlántico Norte y en los linderos de las Devil Hills, donde seguramente los Wright podían oír el

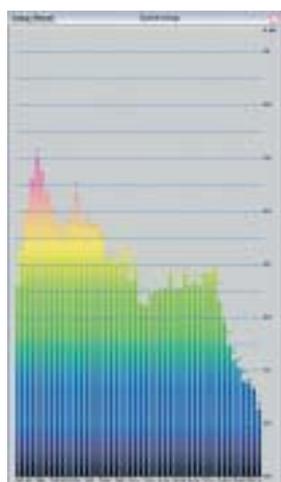
retumbar de las olas. Ese ruido de fondo puede obtenerse de los archivos de sonido, junto con la fuerte brisa que soplaba durante el primer vuelo, según describe la Enciclopedia Británica, y el siseo de la hierba en las dunas.

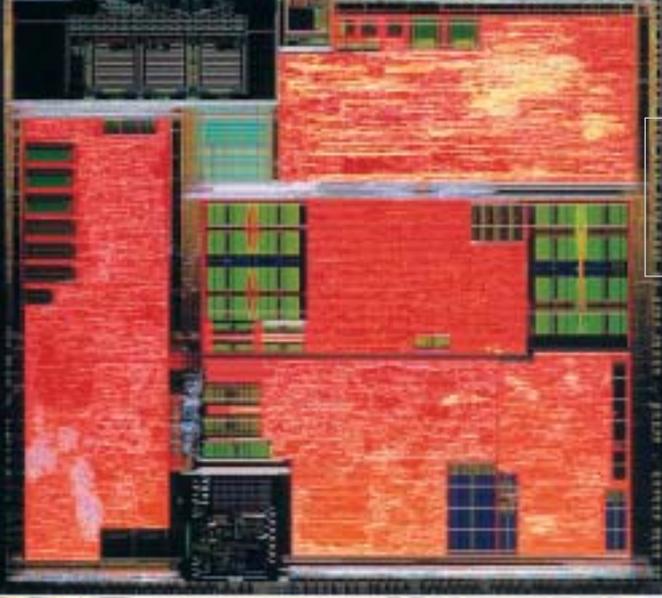
El motor funcionaba a 1.200 pm., y en los archivos de sonido encontramos un Chrysler de la época, que zumba profunda y agradablemente.

El analizador de espectro del programa de sonido muestra frecuencias plausibles; por ahora, todo va bien. El primer vuelo duró doce segundos, por eso se selecciona un fragmento en que el sonido cae al final, a causa del efecto Doppler cuando el avión

Hace veinte años, esta tarea habría tenido un coste inasequible para una sola persona, y habría requerido toneladas de equipo: hoy, todo lo que se necesita es un ordenador portátil, un pequeño escritorio y algunas horas de tiempo. La enciclopedia se ha puesto en un DVD, que sustituye a 30 pesados tomos y es mucho más cómoda para una búsqueda rápida que el papel. El programa de sonido viene también en forma no tangible en el disco duro y sus numerosas estanterías virtuales ofrecen una gama infinita de efectos. El desarrollo del ordenador moderno ha puesto en marcha una oleada de desmaterialización, que también dará lugar a una reducción del consumo de energía. La disminución de los precios del equipo y los programas informáticos ha puesto también instrumentos maravillosos al alcance de la gente creativa con pocos recursos.

En el futuro, la biblioteca de pulsera no será nada raro, de la misma manera que no lo serán las comunicaciones móviles interactivas.





Un estudio de TV que cabe en una uña: un chip multimedia con regulador para control de visualización de alta resolución y con el consumo de energía de una linterna.

¡Paso a la nanotecnología! Los próximos años

La tecnología de transistores utilizada hoy en los procesadores de los ordenadores se llama CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) y se desarrolló, entre otras cosas, para los primeros relojes de pulsera electrónicos, porque consumía mucha menos electricidad que los sistemas antecesores. Desde los años 70, los expertos repiten una y otra vez que la tecnología alcanzará sus límites en el plazo de 10 a 15 años. Es cierto que esta vez la industria electrónica tiene una razón de peso para admitir que se ha roto la tendencia a la continua miniaturización de sus componentes: en el avance en el conocimiento del microcosmos, los elementos constituyentes de la materia, es decir su estructura atómica, se van haciendo visibles. Las envolturas electrónicas de los átomos son, sin embargo, los componentes más pequeños que pueden unirse en condiciones normales para formar estructuras técnicas duraderas. Por tanto, nos encontramos ante un límite fundamental a la vista: un circuito no puede ser más delgado que un átomo.

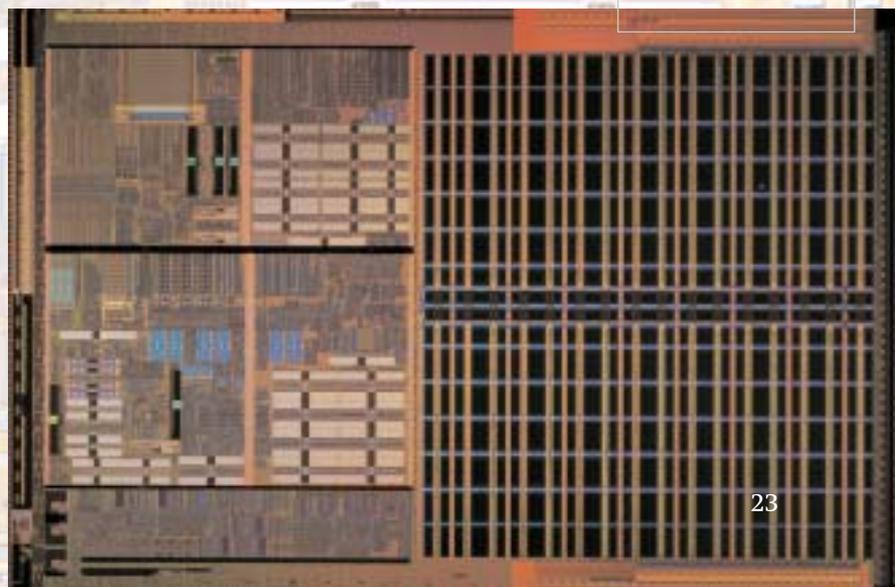
La tecnología CMOS está ya desde hace tiempo sujeta a límites, a veces muy curiosos. Los circuitos que conectan los transistores de un microprocesador son ya tan finos que los átomos de aluminio serían inestables en tal aplicación ya que serían arrastrados por el flujo de electrones como los guijarros en un torrente, fenómeno que los especialistas denominan "electromigración". La respuesta a este problema son los circuitos de cobre, que son incluso mejores conductores y aceleran el flujo de señales en un chip. Actualmente los circuitos se han juntado de tal

manera que se crea una capacidad perceptible, como en un condensador. Si no se tuviera en cuenta este efecto en el diseño del chip, éste podría desincronizarse.

Algunos componentes de transistores de chips se están reduciendo poco a poco a un tamaño de menos de 20 nanómetros, con lo cual nos situamos en el ámbito de la teoría cuántica, donde empieza a entrar en juego el efecto de túnel. Este efecto consiste en que se producen corrientes en los transistores más grandes donde no debería haber corriente alguna, porque en el sistema de puertas electrónicas se dan fugas. Aunque las corrientes sean minúsculas, al haber millones de transistores, se producen considerables pérdidas y el procesador se calienta. Además, estas cargas erráticas causan errores lógicos, que pueden ser fatales.

En las estructuras muy finas, el carácter ondulatorio del electrón, descrito por la teoría cuántica, empieza a hacerse visible. Muchos científicos ven esta situación como una oportunidad de desarrollar un tipo completamente nuevo de electrónica: podría producirse un ordenador cuántico que abriría un universo matemático totalmente nuevo.

Procesador de 64 bits de AMD para aplicaciones de PC con 106 millones de transistores que utilizan la tecnología de 130nm.

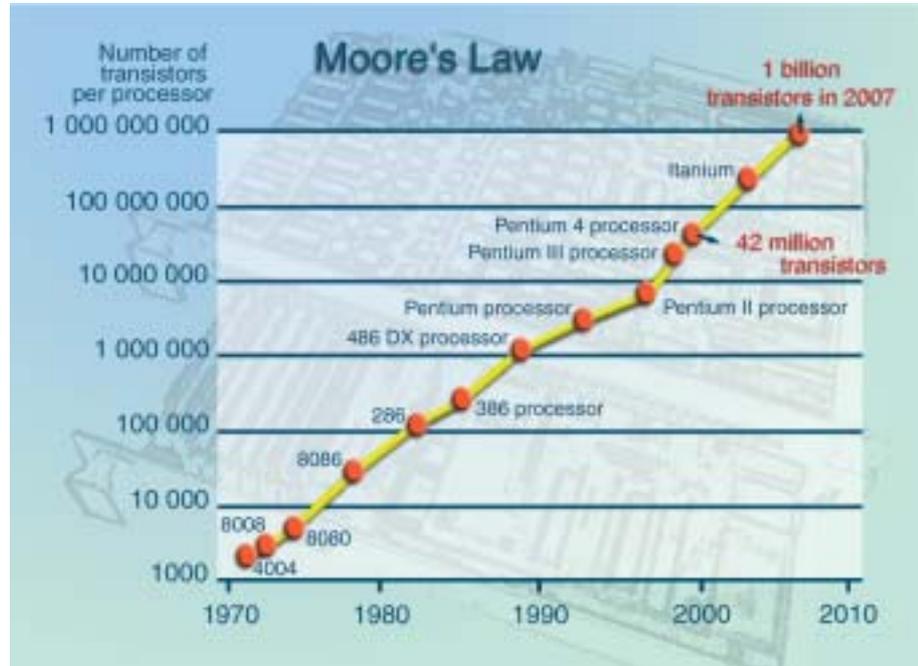


El mundo en red: la nanoelectrónica

La ley de Moore alcanza su límite

Ya en 1965, Gordon Moore, cofundador de la empresa Intel, encontró que la capacidad de los microprocesadores se duplicaba aproximadamente cada 18 meses. Esta "ley" se está cuestionando actualmente a causa de un problema muy humano. Mientras que se está logrando cerca del 50 por ciento de crecimiento anual en el número de transistores de un microprocesador, los analistas se quejan de que la productividad del diseño de chips solamente ha aumentado en un 20 por ciento al año. La industria ha intentado contrarrestar esta tendencia continuamente aumentando el tamaño de los equipos de diseño, que ahora están compuestos de 250 a 300 personas, llegándose así a una cantidad límite que ya no se puede gestionar.

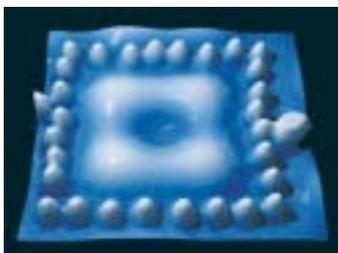
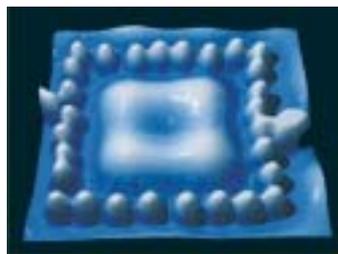
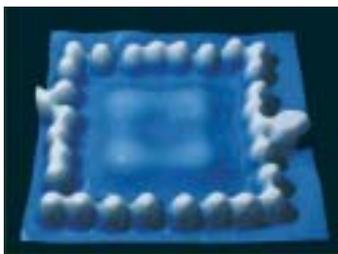
Al crecimiento permanente se opone la segunda ley de Moore, según la cual la disminución del tamaño de las estructuras lleva aparejado un aumento del coste de las instalaciones de producción. Hasta que estas restricciones limiten de manera duradera el desarrollo futuro, la nanotecnología continuará



desempeñando un papel cada vez más importante en el campo de la nanoelectrónica. De hecho, se fabrican ya CPU actuales con estructuras de menos de 100nm y con más de 100 millones de transistores. Si está en lo cierto la "hoja de ruta" de la industria de los semiconductores, cuyos pronósticos se basan, en gran medida, en avances técnicos realistas, se podrán conseguir estructuras de 45nm en unos años (2010), lo cual supone más de mil millones de transistores por microprocesador y abre posibilidades con las que hoy sólo podemos soñar.



A 450 grados una minúscula isla de silicio en un cristal de silicio se disuelve poco a poco. El conocimiento de procesos como éste es importante para la calidad de las capas finas.

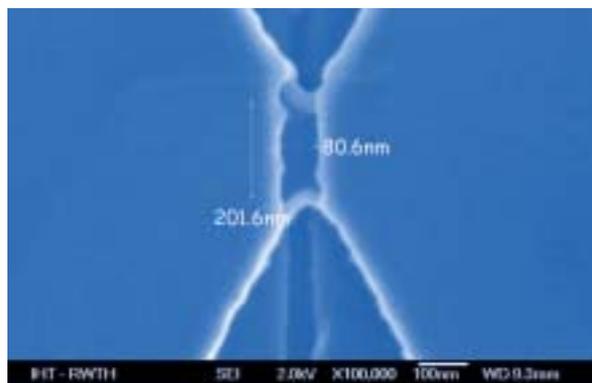


Átomos de manganeso sobre plata en la Universidad Christian-Albrechts de Kiel. Los electrones cercados por una valla de átomos de manganeso forman modelos de distribución que dependen del voltaje eléctrico aplicado. Efectos como éste serán importantes para la electrónica del mañana.

Memoria RAM de cambio de fase

Los dispositivos actuales de almacenamiento de datos se basan en diversas tecnologías que tienen sus ventajas y desventajas. Los discos duros magneto-mecánicos tienen una densidad de memoria muy alta y almacenan datos sin necesidad de una fuente constante de corriente eléctrica, pero son muy lentos. En cambio, las memorias DRAM (Dynamic Random Access Memory, Memoria dinámica de acceso aleatorio) son rápidas pero necesitan “refrescar” constantemente los datos utilizando impulsos de corriente eléctrica. Las memorias Flash, que se encuentran, por ejemplo, en los lectores de MP3, los teléfonos móviles y las cámaras digitales conservan los datos sin un suministro constante de corriente, pero no son tan rápidas como las DRAM y sólo pueden usarse aproximadamente 1 millón de veces. Los futuros conceptos nanotecnológicos de almacenamiento de datos son según las previsiones actuales las MRAM (Magnetic Random Access Memory, Memoria magnética de acceso aleatorio) y la memoria RAM de cambio de fase, aquí descrita. Estos nuevos conceptos combinarán las ventajas previamente mencionadas: alta densidad de memoria, velocidad, retención de datos sin suministro de corriente y larga vida útil.

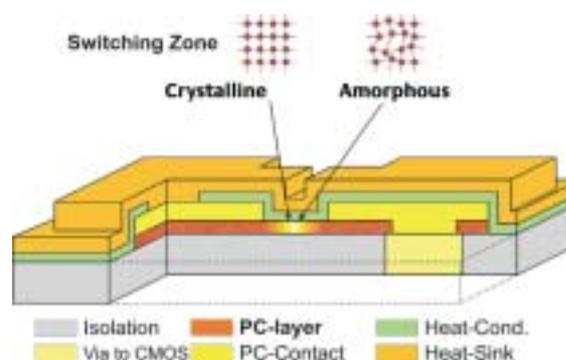
La materia sólida puede presentarse en dos formas extremas: en estado cristalino, donde los átomos se disponen ordenadamente como los pinos en una explotación forestal, o en estado amorfo, donde se sitúan irregularmente. Entre los sólidos amorfos comunes se incluyen ciertos tipos de vidrio, como el vidrio de cuarzo. La misma sustancia, el dióxido de silicio, puede encontrarse en su forma cristalina en el comercio de minerales, donde se la conoce como cristal de roca. De estas dos formas, la amorfa y la cristalina, se oír hablar mucho más en adelante,



porque serán probablemente la gran memoria del futuro. Algunos sólidos se prestan mejor que otros a pasar del estado amorfo al cristalino y viceversa; este cambio de fase, que se logra generalmente mediante el calor, ha encontrado una amplia aplicación en los sistemas de almacenamiento óptico. Por ejemplo, cuando se graba un DVD regrabable, una capa especial en el DVD cambia su fase a nivel local de “cristalina” a “amorfa” mediante el choque térmico de un impulso de láser, modificando así sus propiedades de reflexión, para poder escribir una configuración de bits legible. Una exposición más larga y más fuerte al láser transforma de nuevo las partes amorfas en cristalinas para poder volver a escribir el DVD.

Los materiales de cambio de fase, sin duda alguna, tienen por delante una larga carrera en el campo de las memorias RAM de cambio de fase. En éstas no se efectúa el cambio de fase por un procedimiento óptico sino electrónico. Mediante impulsos eléctricos cortos se consigue un material amorfo con alta resistencia eléctrica, y con impulsos más largos, el material se vuelve cristalino con una resistencia baja. La información se interpreta en función de la resistencia, alta o baja, de los elementos de memoria.

Con las memorias RAM de cambio de fase deberían conseguirse densidades de almacenamiento que permitirían almacenar un terabit en una superficie del tamaño de un sello – diez horas de vídeo sin comprimir de la mejor calidad. Los ordenadores portátiles que tengan esta tecnología comenzarían simplemente de nuevo donde su dueño se hubiese parado y ya no sería necesario iniciarlos de nuevo.



Derecha: Capas de PC para el almacenamiento de bits. Mediante impulsos de corriente y calor de diversas longitudes se pasa del estado amorfo al cristalino para el almacenamiento de bits. Este diseño patentado por el IHT de la Universidad RWTH-Aachen permite obtener una memoria rápida con un bajo consumo de energía.

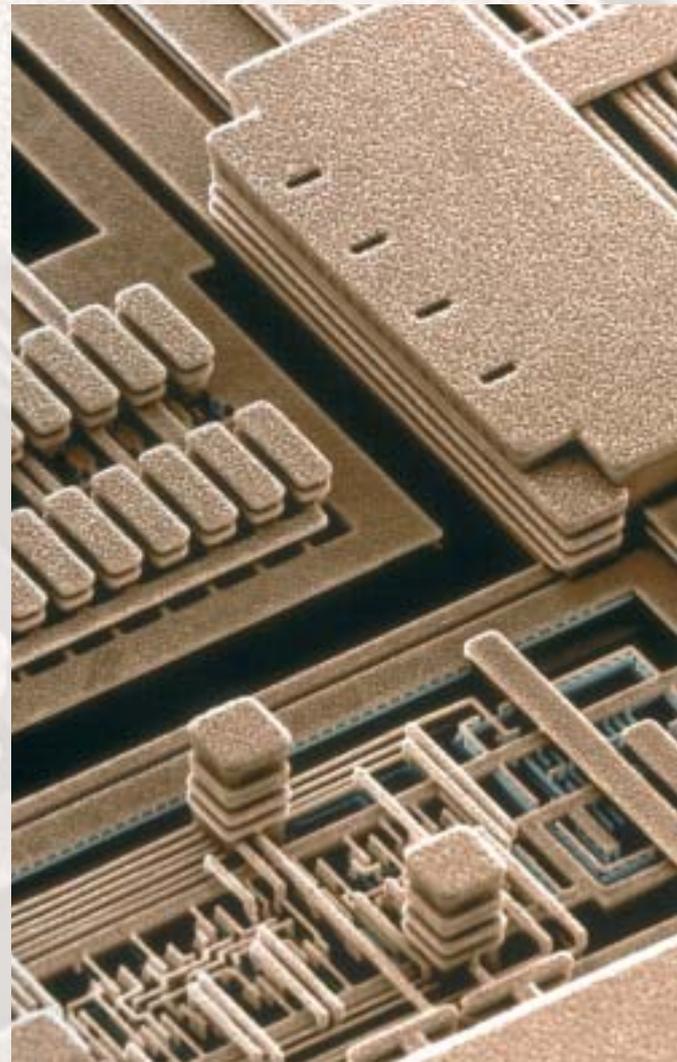
Izquierda: Diseño actual de una memoria RAM de cambio de fase.

El mundo en red: La nanoelectrónica

Adelante con las tres dimensiones. Los chips crecen en altura

Los rascacielos fueron la solución económica dada la escasez de suelo en Manhattan cuando hubo que construir nuevas oficina y viviendas. Naturalmente, la idea de la tercera dimensión también se les había ocurrido a los diseñadores de microprocesadores, pero los intentos en este sentido fracasaron debido a toda una serie de problemas.

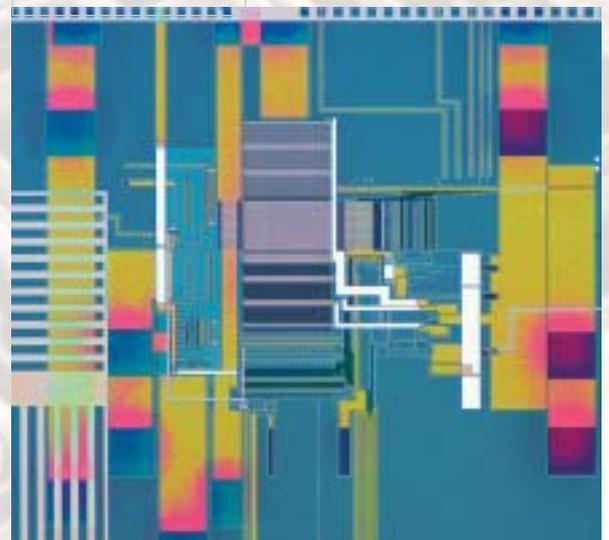
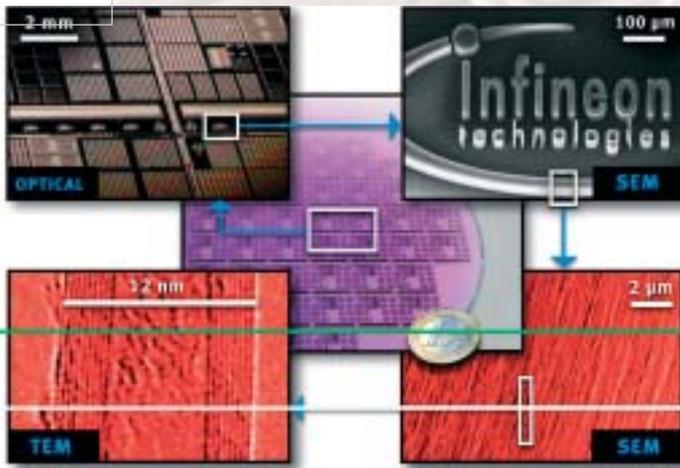
Sin embargo, ahora parece que la empresa Infineon AG de Múnich ha encontrado un camino hacia la tercera dimensión porque ha logrado producir nanotubos de carbono (CNT, Carbon Nanotubes) sobre obleas (placas de silicio pulidas en las que se colocan los chips). Los nanotubos de carbono son conductores de primera clase y, por ello, producen poco calor residual. También pueden utilizarse como conexiones (VIA), que pueden también soportar tensiones mecánicas, entre los diversos niveles de los circuitos de un microprocesador. A largo plazo, los investigadores de Infineon consideran posible desarrollar una auténtica tecnología tridimensional para los microprocesadores con la ayuda de los CNT, sobre todo porque los CNT, al ser excelentes conductores de calor, podrían también disipar el calor del interior de los chips tridimensionales.



10 μm

Crecimiento de nanotubos de carbono en puntos predefinidos de una oblea de silicio mediante un proceso compatible con la microelectrónica.

Arte moderno: Estructuras experimentales para la memoria RAM espintrónica.

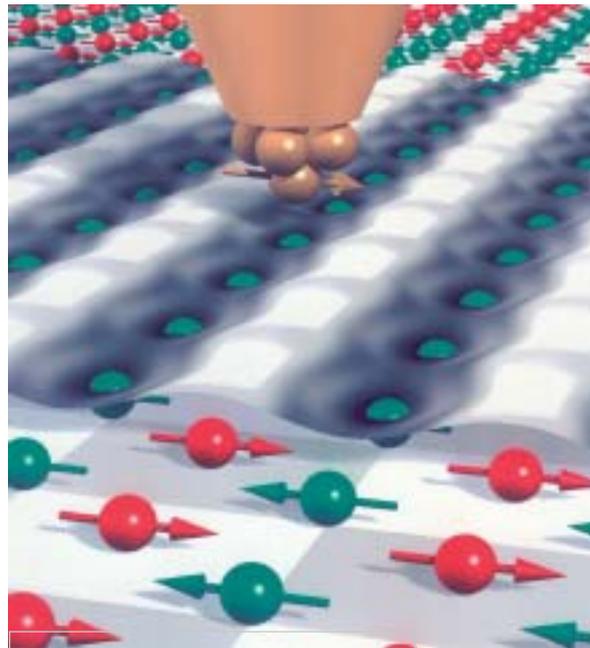




Tan complejo como una ciudad: los circuitos de cobre de un microprocesador (IBM), vistos con un microscopio electrónico de barrido. Los microprocesadores modernos tienen hasta nueve niveles de circuitos.

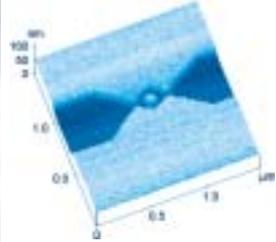


Moléculas orgánicas desparramadas en el silicio. Imagen de microscopio de barrido de efecto túnel, Universidad del Ruhr de Bochum.



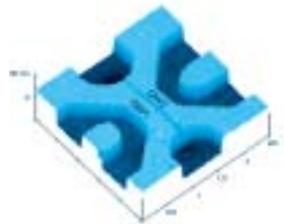
La sonda magnética de un microscopio de barrido de efecto túnel de spin polarizado explora las propiedades magnéticas de cada átomo.

Ejercicios para dedos para el ordenador cuántico denominado "Interferómetro Aharonov-Bohm", creado en la Universidad del Ruhr de Bochum con un microscopio de fuerza atómica.



Conexiones cuánticas a través de túneles cuánticos: los electrones pasan por conductos que se bloquearían según la teoría clásica. Los experimentos de la nanotecnología están comenzando a dar alcance a la teoría.

En las MRAM, los chips con memorias magnéticas, la información se almacena en el spin de las capas magnéticas. Este avance es de gran interés para la memoria central permanente y podría llevar a largo plazo a la sustitución de los discos duros, que funcionan mecánicamente.



También se están estudiando las posibilidades de aplicar la tecnología "espintrónica" a los ordenadores cuánticos, por ejemplo, en la Universidad de Würzburg.

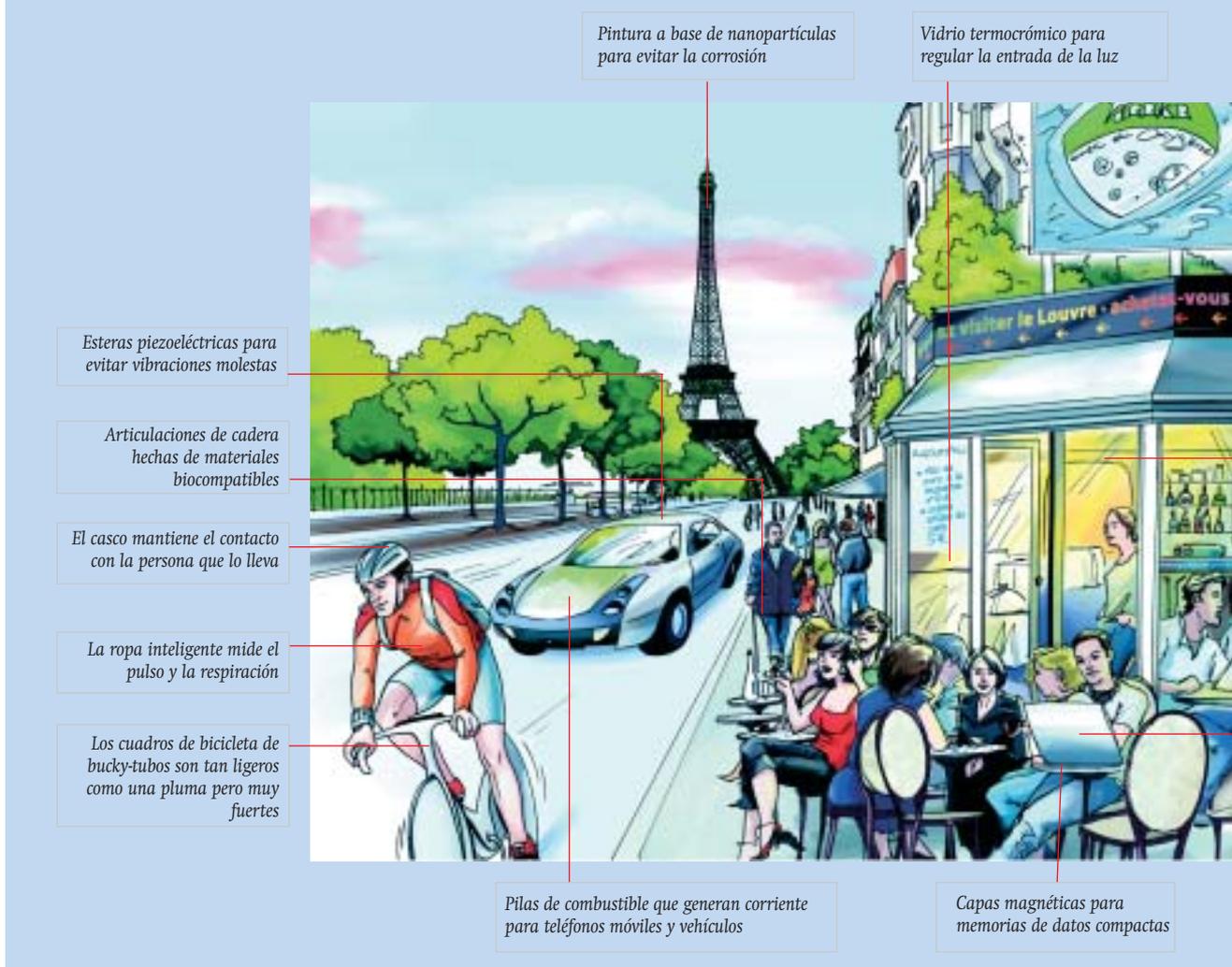
Nuevos efectos para los potentes discos duros: el cabezal lector utiliza la magnetorresistencia gigante generada a partir de un elemento semiconductor de más de 20 capas nanométricas.

La espintrónica: computar con el spin de los electrones

Los componentes espintrónicos podrían provocar una auténtica revolución, que relegaría la ley de Moore a un futuro bastante lejano. Estos componentes, además de las propiedades eléctricas del electrón, también hacen uso de sus características magnéticas, su spin. El spin de los electrones se manifiesta como un momento magnético diminuto, que reacciona de una manera compleja en presencia de otras condiciones magnéticas, y puede así utilizarse para funciones electrónicas. Una aplicación de la "espintrónica" o magnetoelectrónica forma ya parte de nuestra vida cotidiana: los nuevos discos duros tienen cabezales lectores de capa fina a base de "válvulas de spin", que gracias a la magnetorresistencia gigante descubren ámbitos magnéticos muy pequeños, permitiendo densidades muy altas de almacenamiento.



Nanotecnología en la vida cotidiana del futuro



Para que la nanotecnología entre a formar parte de nuestra vida cotidiana, nada externo debe cambiar radicalmente. A la gente le seguirá gustando sentarse en la terraza de un café, incluso más que ahora, si cabe, porque al rugido de los motores de combustión interna sucederá un zumbido y un siseo discretos, como el de las mamparas de la nave espacial Enterprise cuando se cierran. El hedor de la gasolina quemada habrá sido sustituido por un olorillo ocasional, apenas perceptible, de metanol, el carburante de las pilas de combustible. El servicio será muy rápido: la introducción del pedido en la carta electrónica pondrá en movimiento directamente la cocina. La factura se pagará de manera muy simple: tocando con una tarjeta de pago el símbolo euro impreso en un ángulo de la carta. Las propinas aún se darán en metálico porque el tintineo suena muy bien, pero las monedas serán mucho más higiénicas porque estarán recubiertas de nanopartículas antibacterianas. Las ventanas de los cafés se habrán convertido en algo muy costoso porque cumplirán

muchas funciones, con lo cual resultará que, al final, saldrán baratas ya que serán resistentes a la suciedad y al rayado, se oscurecerán cuando haya demasiada luz, convertirán automáticamente la luz en electricidad y se transformarán en una gigantesca pantalla cuando haga falta (isera divertido sentarse en un café o delante de él con otra gente para ver el campeonato del mundo).

Con la nanoelectrónica madura son concebibles dispositivos de una elegancia seductora, como un auténtico PDA (ayudante digital personal) en un formato de tarjeta de crédito (no es porque no pueda fabricarse en un tamaño más pequeño, por supuesto, sino porque las manos humanas necesitan algo manejable).

El aparato podría ser un monolito negro mate sin estructuras reconocibles, su superficie negra recogería la luz solar y la convertiría en electricidad; sería a prueba de rasguños y estaría cubierto con una capa finísima de diamante, debajo



Diodos orgánicos emisores de luz (OLED) para pantallas

Películas fotovoltaicas que convierten la luz en electricidad

Los diodos emisores de luz (LED) son bastante potentes ahora para competir con las bombillas

Cristales con un recubrimiento anti-rayado que utiliza el efecto de loto

Tarjeta de menú de cartulina electrónica

Nanotubos para nuevos sistemas de visualización en los ordenadores portátiles

Telas con un recubrimiento que resiste las manchas



Las nanopartículas de las nanosoluciones son fluorescentes a la luz ultravioleta, pero, por lo demás, completamente invisibles. Bien distribuidas en líquidos, pueden aplicarse con la tecnología de impresión de chorro de tinta, sin cambiar el diseño o la función del objeto marcado. De esta manera los nanopigmentos pueden utilizarse para la protección contra la falsificación.

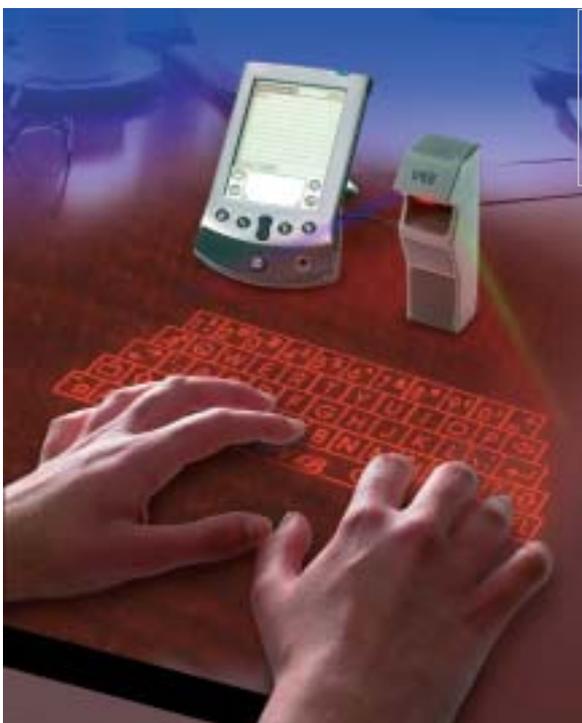


“Vidrio fotocrónico”: la transparencia de estos tipos de cristal es electrónicamente controlable y puede utilizarse para la climatización de la oficina del mañana.

llevaría una fina capa piezo-cerámica que convertiría el sonido en electricidad y viceversa para permitir la comunicación oral. Naturalmente, también sería capaz de transferir datos por ondas de luz y de radio.

Este aparato también podría ver mediante una lente plana y un microprocesador convertidor de imagen de alta resolución, se iluminaría a voluntad como pantalla de visualización, y podría convertirse en grabadora, cámara, lector de vídeo, aparato de televisión, teléfono móvil, y, mediante el GPS, en sistema de orientación, todo en uno. Además, si se le pidiese, sería capaz de leer, traducir y explicar el menú en un café de París, luego encargaría en francés coloquial y finalmente pagaría la factura.

Naturalmente, el aparato reconocería las voces y huellas digitales de las personas autorizadas para usarlo, protegiéndolas así de cualquier uso malintencionado.



El teclado virtual: al tocar una tecla proyectada el sistema la reconoce e interpreta que se ha tocado una tecla real.

Como en otras máquinas, la nanotecnología también sustituirá la cantidad por la calidad en el automóvil. La técnica se reconciliará con la naturaleza al conseguir más prestaciones con menos materiales.

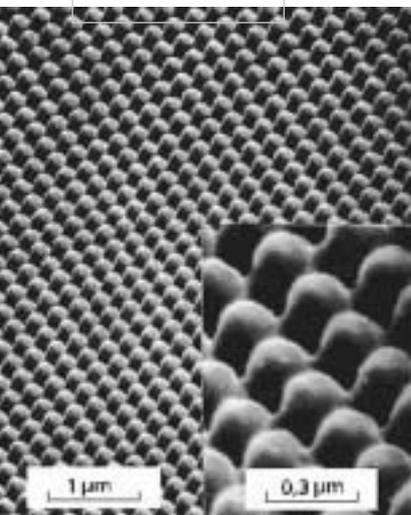
La nanotecnología aplicada al automóvil

Pequeñas estructuras para una perspectiva más amplia. Con la ayuda de estructuras regulares microscópicas pueden evitarse las molestias que crean los reflejos de las pantallas y cristales del coche. La analogía que encontramos en la naturaleza es el ojo de la polilla, que, de noche, necesita ver lo mejor posible, sin ser vista.

Hoy en día pueden hacerse parabrisas resistentes al rayado con recubrimientos a base de partículas duras nanométricas producidas mediante las técnicas de sol-gel. Estos recubrimientos son completamente transparentes porque las nanopartículas son tan pequeñas que no dispersan la luz. El principio se aplica ya a las gafas, aunque todavía no se ha perfeccionado. A la capa de recubrimiento podría dársele una estructura de hoja de loto que facilita el auto limpiado de la suciedad.

Los parabrisas con recubrimientos de nanopartículas podrían también ayudar a la climatización del coche reflejando la radiación térmica y luminosa en mayor o menor medida mediante un control electrónico. Aplicada a las oficinas, esta tecnología contribuiría a ahorrar enormes cantidades de energía.

La iluminación necesaria en los coche se genera hoy ya en buena medida a base de nanotecnología: como todo diodo emisor de luz (LED), los diodos de alto rendimiento para luces de freno cuentan con sistemas de capa nanométricos muy precisos que convierten la electricidad en luz con gran eficacia. Otro ventaja es que los LED convierten la electricidad en luz visible al ojo humano casi inmediatamente, mientras que las luces de freno convencionales con bombillas necesitan un poco más de tiempo. La diferencia puede significar varios metros de distancia de frenado de más o de menos. La luminosidad de los LED es tan grande actualmente que, agrupados, pueden servir para las luces de cruce.



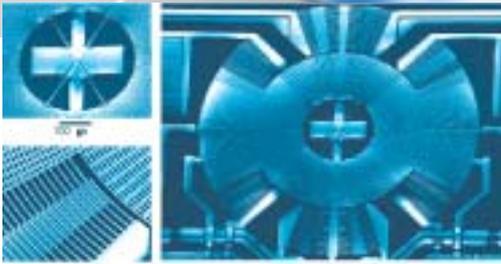
Diodos emisores de luz (LED) en los semáforos ahorran tiempo de servicio y energía. La amortización no es superior a un año.



Los actuales sistemas electrónicos de seguridad, como los de frenos antibloqueo (ABS) o de estabilidad electrónica (ESP), entran en acción en situaciones críticas; los sistemas futuros las evitan.



Injectores para vehículos Diesel. Los sistemas futuros irán equipados con capas de protección contra el desgaste semejantes al diamante de sólo algunas decenas de nanómetros.



Sistemas de equilibrio compuestos de silicio: sensor de velocidad de rotación para la estabilización de vehículos.



Los LED blancos son tan potentes hoy en día que pueden utilizarse como fuentes de luz para faros delanteros.

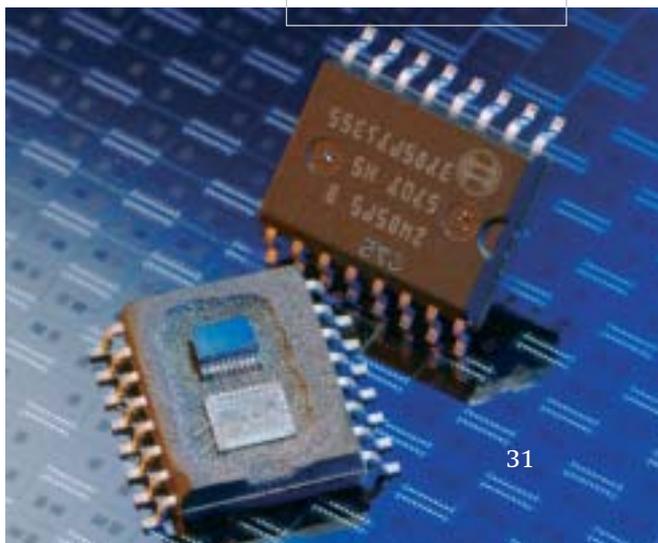
La pintura podría también diseñarse nanotecnológicamente de manera que actuase como un conjunto de células solares (una opción que todavía no se ha desarrollado). La corriente así generada se utilizaría para recargar la batería cuando se aparcara el vehículo, cosa que ya se puede hacer con las células solares convencionales, o para mantener el interior

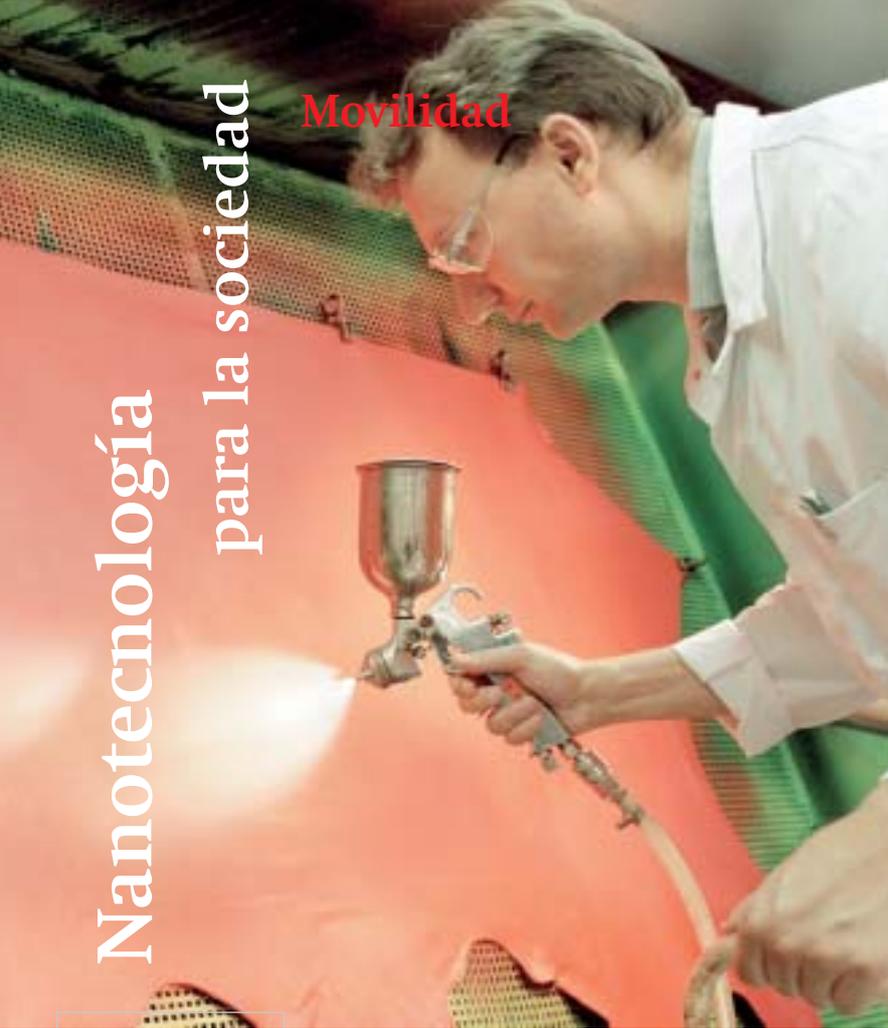
fresco utilizando una bomba de extracción de calor. La bomba podría a su vez consistir en un sistema de capas semiconductoras de tipo nanotecnológico sin ninguna parte móvil. Si se hace al revés y el considerable calor residual del motor de combustión se hace pasar por este semiconductor, este calor se convierte de nuevo en electricidad (véase también “Termoeléctrica” en “La energía y el medio ambiente”).



Las pilas de combustible (véase la p. 33) convertirán el automóvil en un medio de transporte no contaminante. Si el combustible de hidrógeno también se obtiene de fuentes de energía renovables, este sistema de alimentación eléctrica será enormemente respetuoso del medio ambiente.

Derecha: La electrónica al servicio de la seguridad en el vehículo: Sensor de aceleración para un airbag delantero.





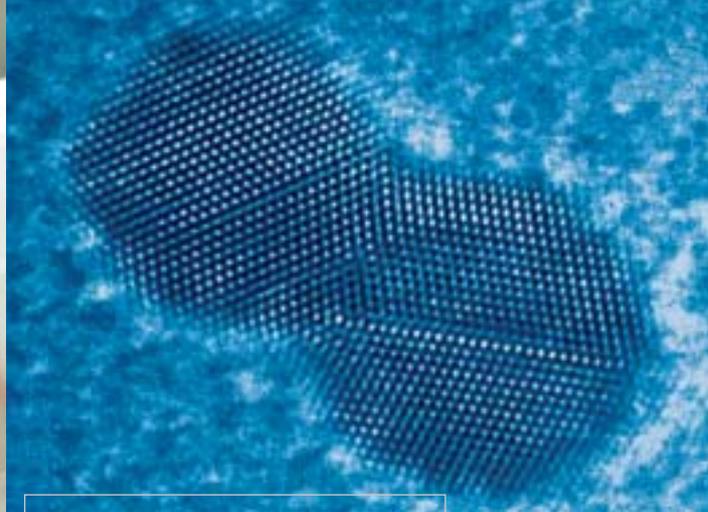
Las cápsulas de perfume nanométricas hacen el cuero más agradable.

Catalizadores de oro

La nanotecnología puede también ayudar al oro a emprender una nueva carrera. Mientras que el oro en su estado natural es muy inferior al platino como catalizador, el oro en nanopartículas sobre un material poroso portador constituye un catalizador muy práctico para coches, que, incluso durante el arranque en frío, convierte los óxidos nitrosos y el monóxido de carbono en sustancias inofensivas. El oro en nanopartículas también es muy prometedor como posible catalizador para las pilas de combustible.

Todos estos progresos naturalmente también beneficiarán a otros medios de transporte que no tienen nada que ver con el coche. Las bicicletas por ejemplo se prestan muy bien a las aplicaciones de la nanotecnología, especialmente las pilas de combustible y las células solares. Así se podría crear un "móvil eterno", que viajaría silenciosamente propulsado sólo por la luz, el aire y el agua, tan ligero como una pluma gracias a su cuadro de nano-fibra de carbono, sus luces LED y otros inventos.

Orinal de área de servicio con sistema a prueba de vándalos a partir de tecnologías de microsistemas. Las capas nanométricas con "efecto de loto" simplificarán el mantenimiento y limpieza.



Nanopartículas de oro para nuevos catalizadores.

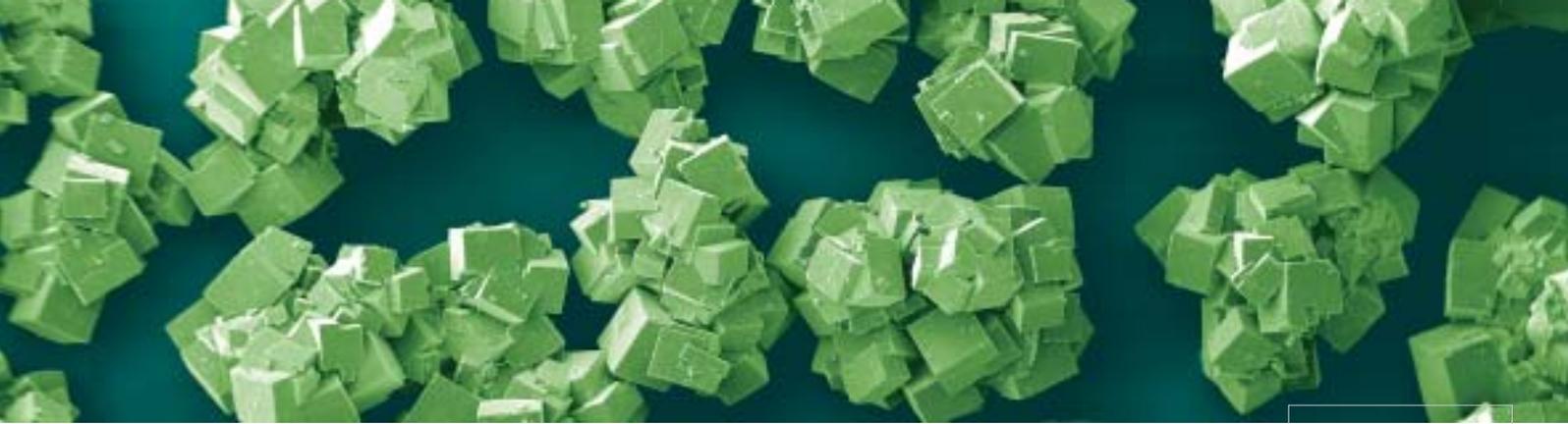
Oro contra el mal olor

Los catalizadores a base de nanopartículas de oro también se están probando actualmente para combatir los malos olores. En pequeños sistemas de aire acondicionado como los de los coches, pueden evitar los olores producidos por las bacterias del sistema. En Japón estos sistemas están ya en servicio en los retretes.

Nanotecnología en la gasolinera

Los conductores pueden encontrar ya esta tecnología de microsistemas en las gasolineras de las autopistas. Los orinales de los lavabos más avanzados están equipados con sensores que señalan cualquier aumento de temperatura a un sistema electrónico, lo cual provoca una descarga de la cisterna. La corriente eléctrica requerida la suministra una miniturbina movida por el chorro de agua de la descarga. A diferencia de los dispositivos con sensores infrarrojos, este sistema no puede bloquearse con un simple chicle.

Los orinales nanotecnológicos funcionan, de una manera más simple y, a la vez, más compleja que los aparatos con sensores infrarrojos. Gracias al efecto de loto en las paredes del orinal, el líquido se escurre fácilmente, luego se filtra a través de una capa fluida anti-olor y desaparece, se supone, sin dejar ningún rastro; aunque, habrá que ver en la práctica hasta qué punto es así. Naturalmente, esta tecnología también es adecuada para las viviendas.

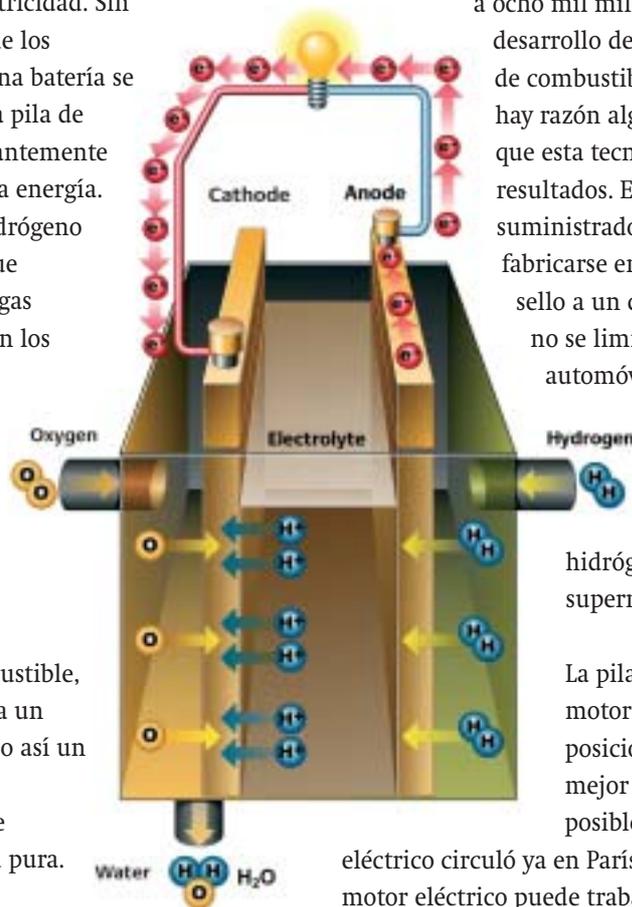


Gracias a su nanoporosidad, los "nanocubos metálicos" de BASF pueden almacenar grandes cantidades de hidrógeno.

Las pilas de combustible: un dispositivo con mil aplicaciones

Las pilas de combustible son semejantes a las baterías: generan electricidad. Sin embargo, mientras que los ingredientes químicos de una batería se agotan tarde o temprano, la pila de combustible se carga constantemente de una sustancia que genera energía. Esta sustancia puede ser hidrógeno puro u otro gas o líquido que contenga hidrógeno, como gas natural o aceite de colza. En los últimos dos casos, hay que separar el hidrógeno en un "reformador" antes de que pase a la pila de combustible. Cuando el hidrógeno y el oxígeno se combinan, se transfieren electrones del hidrógeno al oxígeno. En la pila de combustible, estos electrones se desvían a un circuito exterior, accionando así un motor u otro dispositivo. El producto de reacción que se obtiene no es más que agua pura.

Las pilas de combustible ofrecen un alto nivel de rendimiento, que, según el tipo, es en gran parte independiente del tamaño. Se fabrican en muchas variantes diversas. Las aportaciones de la nanotecnología a estos sistemas pueden ser muchas, por ejemplo: películas cerámicas, superficies nano-texturadas y catalizadores de nanopartículas.



En los últimos años se han dedicado alrededor de seis a ocho mil millones de dólares al desarrollo de la tecnología de las pilas de combustible en todo el mundo, y no hay razón alguna para poner en duda que esta tecnología dará buenos resultados. Estos callados suministradores de electricidad pueden fabricarse en tamaños que van de un sello a un contenedor y su utilización no se limita, ni muchos menos, al automóvil. Para los pequeños consumidores, podría utilizarse una mezcla no inflamable de metanol y agua como fuente de hidrógeno, que se cargaría en los supermercados.

La pila de combustible ayudará al motor eléctrico a recuperar su posición de vanguardia como el mejor de todos los motores posibles (el primer coche

eléctrico circuló ya en París en 1881). Sólo el motor eléctrico puede trabajar con un rendimiento de más del 90%, y sólo él puede funcionar como generador y, al mismo tiempo, convertir la energía cinética en energía eléctrica, por ejemplo cuando frena el coche. Naturalmente, los materiales magnéticos de gran calidad de los nuevos motores y generadores eléctricos están también compuestos por nano-cristales.

Las pilas de combustible también se utilizarán en el hogar, suministrando tanto electricidad como calor.



Consecuencias de un desayuno en el 2020:

¿Hay más café? Por supuesto. ¿Y zumo de naranja? Naturalmente. Pero podría haber algo muy especial en el envase, como una “lengua electrónica” en su interior, que probase el zumo para comprobar que no se haya estropeado.



Un sensor en el exterior, que determinaría cualquier posible falta de calcio u de otra sustancia a partir del sudor de los dedos que sostienen el envase, falta que podría tratarse mediante “comida funcional”: O un queso de cabra convencional – la etiqueta OLED (diodo orgánico emisor de luz) del envase recomendaría el más indicado.

Arriba a la izquierda: Los envoltorios tipo film con nanopartículas mantienen fresca la comida más tiempo.

Arriba a la derecha: Envase inteligente con chip-transpondedor a base de polímeros.

El espejo del cuarto de baño puede estar equipado con tecnología nanoelectrónica, de manera que dé al usuario la información que se le pida, aunque, probablemente, se mostraría bastante reservado sobre el zumo de naranja, porque está azucarado, y ya se sabe que el azúcar provoca caries. Otra aplicación de la nanotecnología al cuarto de baño: una crema dental (ya disponible) que contiene partículas

nanométricas de apatita y proteína, el material natural de los dientes, que ayuda a repararlos (véase también “biomineralización”).

Existe también ya una crema de día que contiene nanopartículas de óxido de zinc para combatir las radiaciones ultravioleta dañinas. Al ser nanopartículas, son completamente invisibles, por eso la crema no es blanca, sino completamente transparente.

Espías en la yema del dedo

Con la nanotecnología, la nanoelectrónica y la tecnología de microsistemas se obtendrán aparatos de análisis complejos que serán asequibles para los particulares. En adelante, bastará con un pinchazo minúsculo en el dedo para hacerse un análisis de sangre. ¿Está bien el nivel de colesterol? ¿Se sitúa el nivel de azúcar dentro de lo normal? Los resultados se enviarían por correo electrónico al centro nanomédico más cercano, al que podría pedirse un análisis más exacto y donde, si es necesario, podría prepararse una medicación completamente individual en micro-reactores. En el cuerpo, la medicación transportaría nanopartículas recubiertas de tal manera que únicamente actuaran contra el foco de la enfermedad, consiguiendo así una precisión total en la administración del medicamento. Los médicos siguen este tema con gran interés.

Entorno inteligente: El espejo inteligente equipado con nanoelectrónica da lecciones sobre cómo lavarse los dientes.





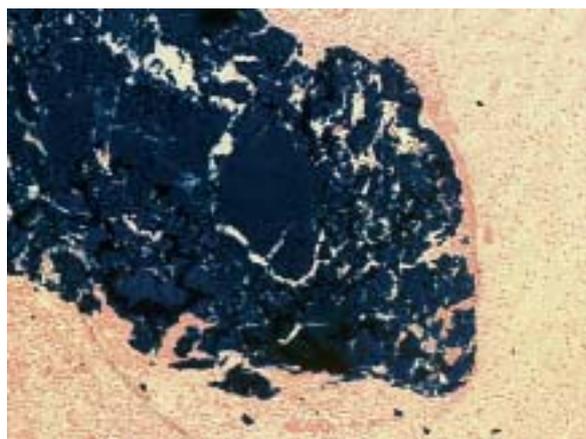
Los diagnósticos del mañana. Gracias a la nanotecnología, métodos que serían cada vez más costosos se pueden mantener asequibles.

Pastillas supramoleculares

La administración de los medicamentos puede ser extremadamente sofisticada. Estarían transportados en moléculas huecas supramoleculares (que se están desarrollando), es decir, en contenedores a escala nanométrica con antenas a las cuales se adhieren proteínas sensoras similares a anticuerpos. Cuando entran en contacto con estructuras típicas del agente que provoca la enfermedad, por ejemplo, la superficie de células cancerígenas o bacterias, se acoplan a éstas y envían una señal a la molécula hueca, que entonces se abre y libera su contenido. Con tal nanotecnología, podrían administrarse los medicamentos en altas dosis directamente al foco de la enfermedad, sin perjudicar al resto del organismo.

fue desarrollada por un grupo de trabajo bajo la dirección del biólogo Andreas Jordania. Los ensayos clínicos están comenzando ahora.

Torniquetes en un chip



Las células cancerígenas de un tumor cerebral tipo glioblastoma "se han atiborrado", hasta el límite con el tejido sano, de nanopartículas de magnetita con un recubrimiento especial. Si las partículas se recalientan mediante un campo electromagnético, se puede a continuación tratar el tumor. Está previsto que esta técnica se autorice para el 2005.

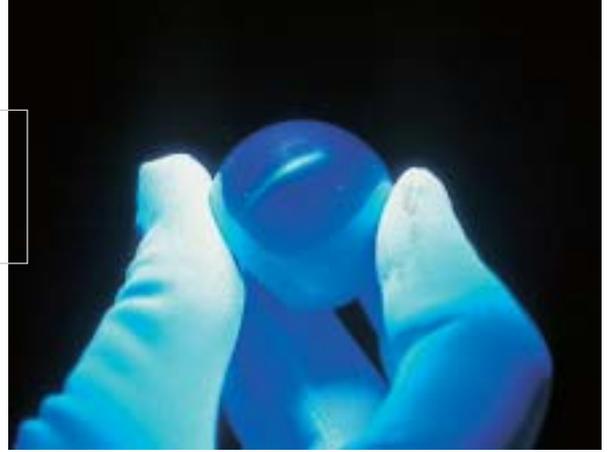
Partículas magnéticas para la terapia del cáncer

Con trucos similares pueden dirigirse también partículas magnéticas de tamaño nanoscópico a los focos cancerosos, que luego se calentarían mediante un campo electromagnético alterno destruyendo así el tumor. Las nanopartículas son también capaces de traspasar el filtro denominado "barrera sangre-cerebro", por lo cual pueden emplearse contra los tumores cerebrales. Esta técnica, denominada hipertermia mediante fluido magnético

La tecnología de microsistemas y la nanotecnología, cuyos límites son borrosos, serán de gran provecho en el sector médico, ya que servirán para miniaturizar y abaratar las técnicas existentes, a veces por un factor de cien mil o más. Tendremos así, entre otras cosas, máquinas muy complejas que podrían analizar millones de células, como las células sanguíneas, clasificándolas vivas según determinadas características a una velocidad de miles por segundo. El procedimiento sería el siguiente: se añaden anticuerpos a la sangre, que se adhieren a las células que interesa, y sólo a éstas; estos anticuerpos llevan un tinte, que se ilumina o se

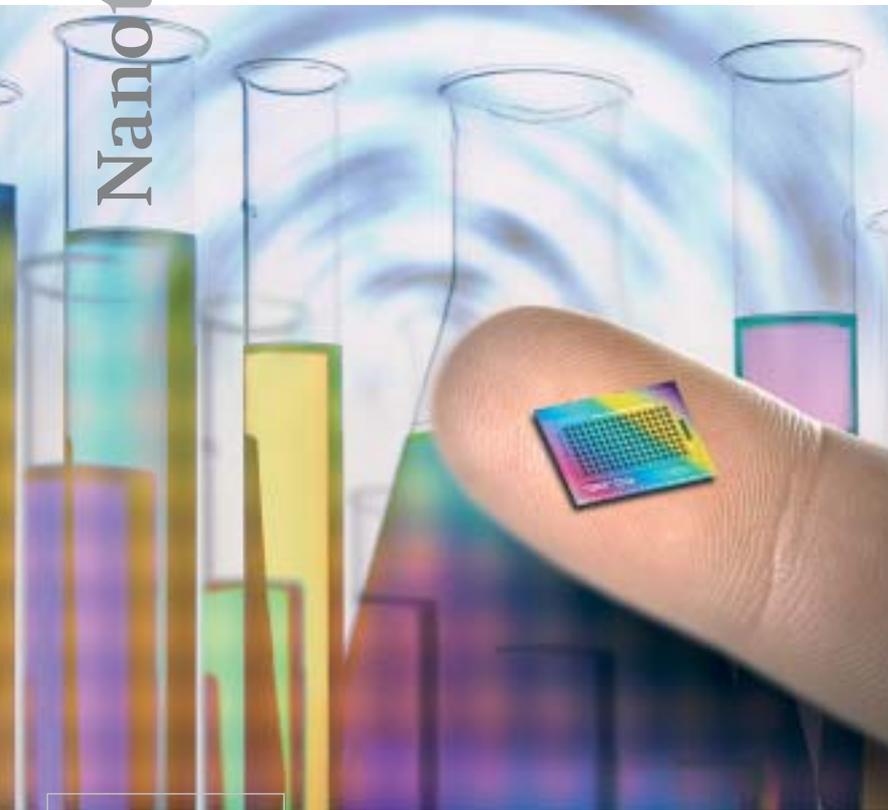
La salud

Los polvos nanoscópicos pueden sinterizarse para obtener productos cerámicos perfectos y fiables, por ejemplo, para injertos.



hace fluorescente bajo la luz de un láser. En el clasificador de células, éstas, encerradas en gotitas, pasan bajo el láser y, cuando se enciende la señal fluorescente, un campo eléctrico dirige la gotita y con ella las células a un receptáculo (esta técnica se ha tomado en parte de la impresora de chorro de tinta). Los clasificadores de células son dispositivos muy sofisticados que, combinan la micromecánica, la óptica y la electrónica más refinada, y, por ello, son muy caros. La nanotecnología reducirá estos

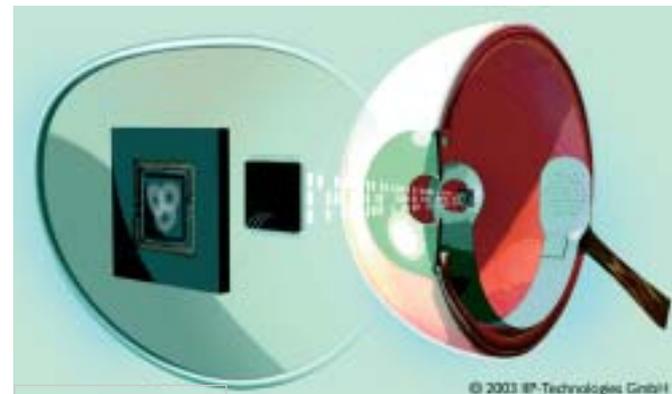
nanocosmos se hacen tan viscosos como la miel, tendrían que circular dentro de ellos, y por tanto necesitarían espacio para fluir. El laboratorio-en-un-chip revolucionará la biología, si se puede utilizar el nanolaboratorio para seguir paso a paso lo que ocurre en cada célula. Al final, se reconstruiría una especie de vídeo: un vídeo de la vida. Y no bastaría con la simple observación de la célula, sino que se podría incluso pincharla para ver cómo reacciona, descifrando así el misterio de la vida.



Minúsculo pero sofisticado, el "laboratorio-en-un-chip", un laboratorio del tamaño de la yema de un dedo.

clasificadores de células del tamaño de un torniquete a las dimensiones de un sello, llegando, quizás, a hacerlos incluso desechables. De esta manera, se acelerará notablemente el progreso médico.

Todavía se prevén nanotecnologías más complejas para el "laboratorio-en-un-chip". Según los investigadores más destacados, se podrían manejar millones de nanodispositivos que se coordinarían para hacer su trabajo. Los chips tendrían varios centímetros cuadrados de superficie, gigantesco en comparación con las nanomáquinas que alojarían, debido a que los líquidos, que en el



Injerto de retina.

Neuroprótesis

Actualmente se está probando una aplicación muy exigente de las tecnologías de microsistemas y la nanotecnología, el injerto de retina adaptativo. Esta técnica tiene por objeto recuperar la visión parcial en casos de ceguera causados por la retinitis pigmentosa.

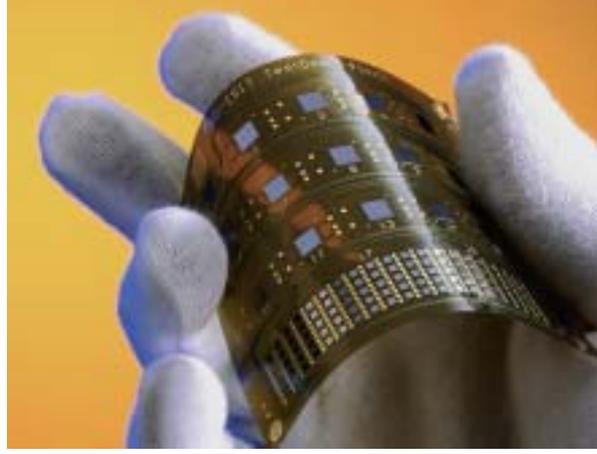
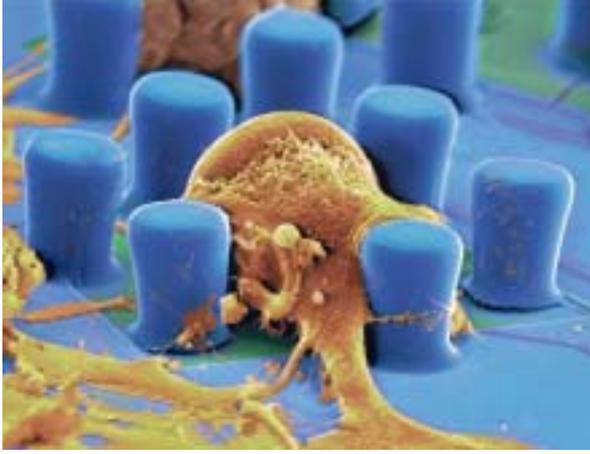


Imagen de la izquierda: Acoplamiento de células nerviosas a contactos eléctricos.

Imagen de la derecha: Chips de silicio finísimos sobre un portador flexible, por ejemplo, para etiquetas inteligentes que pueden incorporarse a los envases de los productos alimenticios o a la ropa.

El sistema consiste en una cámara minúscula colocada en la montura de unas gafas, que transmite imágenes a un procesador de señales especial de tipo adaptativo. El procesador transmite estos datos sin hilos al interior del ojo enfermo, donde se ha colocado una película flexible con electrodos miniaturizados. Estos electrodos están en contacto con la retina y le transmiten el estímulo. Si estas pruebas tienen éxito, éste será el primer “interfaz hombre-máquina” mundial para la vista. Hace tiempo ya que la sordera se viene tratando mediante injertos en el caracol del oído interno. Con la nanotecnología, podrán mejorarse constantemente los injertos de este tipo.

están estudiando ideas como sensores y miniordenadores entretejidos en la ropa que permitirían la supervisión continua del estado de salud de las personas mayores (pulso, respiración y metabolismo). Si hay un problema, un aparato, denominado “MediVest”, informa automáticamente al médico de cabecera o a la familia. También puede localizarse al paciente mediante un módulo GPS o Galileo (Galileo es el futuro sistema europeo de localización), igualmente integrado.

Enfermeras automáticas

La “vieja Europa” todavía tiene una actitud bastante reservada respecto a la asistencia mediante máquinas; en cambio, en Japón los robots móviles se están acercando a la etapa industrial de producción en serie. Es muy posible que esto permita desarrollar sistemas automáticos de asistencia para nuestra vida cotidiana; en todo caso, se está trabajando en ello. La robótica podrá incorporar sin ningún problema el constante aumento del rendimiento de la capacidad de computación de la nanoelectrónica.

Asistencia a domicilio

Una mejor nutrición y una asistencia médica cada vez más completa están prologando la longevidad de la población. Sin embargo, esta evolución, muy deseable en sí misma, tiene también sus desventajas puesto que cada vez habrá más gente que necesitará algún tipo de ayuda. La nanoelectrónica puede aportar esta ayuda, para ello se



Robots con empatía de la Universidad de Oxford: buenos para guardar patos, para cuidar enfermos se necesita mucho más.



Ropa inteligente: La electrónica integrada permite oír grabaciones en MP3, orienta en la ciudad y controla el pulso. Sus ventajas son bien tangibles en nuestra vida cotidiana.



Revolución en el rendimiento gracias a los LED.

Rompiendo con la evolución histórica de la tecnología, la nanotecnología puede combinar el crecimiento económico con un menor consumo de materiales.

La producción nanotecnológica: más confort con menores costes de materiales.

En Europa, alrededor del 10 por ciento de la corriente eléctrica producida se utiliza para la iluminación. Los LED (diodos emisores de luz) pueden producir actualmente luz blanca y, por eso, pueden sustituir a la tecnología convencional. Esta sustitución daría lugar a un ahorro considerable, porque estos diodos sólo necesitan alrededor del

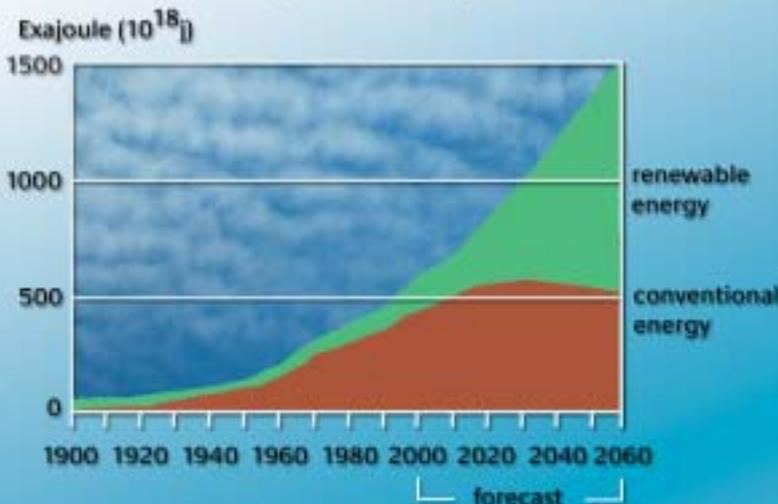
50 por ciento de la energía que consume una bombilla normal para producir la misma cantidad de luz. La Agencia Federal del Medio Ambiente alemana (Umweltbundsamt) ha calculado que, en el sector de la iluminación, existe un potencial de ahorro de energía del 77%.

SHELL AG pronostica que la nanotecnología será la opción de las energías renovables.

En los hogares europeos hay millones de televisores de tubos de rayos catódico que pronto serán sustituidos por aparatos con la tecnología LCD (pantalla de cristal líquido) y, a más largo plazo, también la tecnología OLED (diodo orgánico emisor de luz). Ambas tecnologías tienen un potencial de reducción del consumo de energía del 90 por ciento. Los LED y los OLED se producen con la ayuda de la nanotecnología. Si millones de hogares ahorran algunos kilovatios cada uno, el resultado se mide en gigavatios: la capacidad de varias centrales eléctricas.

Las prestaciones de las pilas de combustible pueden regularse rápidamente y fácilmente. Se están utilizando ya en las viviendas los primeros calentadores de gas natural equipados con pilas de combustible, que generan tanto el calor como la electricidad de manera regulable. Cuando estos calentadores estén instalados en millones de hogares, podrán combinarse a través de la red eléctrica e Internet constituyendo

World energy consumption





así centrales eléctricas virtuales con una capacidad máxima teórica de centenares de gigavatios. A largo plazo, el gas natural podría sustituirse por hidrógeno obtenido de fuentes renovables. La nanotecnología puede contribuir a estos avances con nuevos materiales y catalizadores.

Las membranas cerámicas con poros nanoscópicos son cada vez más importantes en el tratamiento de líquidos y también para el suministro de agua potable. Con estas membranas pueden filtrarse las bacterias y los virus de manera muy simple.

La nanotecnología convertirá la energía solar en lucrativa. Los semiconductores de indio, galio y nitrógeno han demostrado ya que permiten construir células solares con una eficiencia del 50%. Sin embargo, la eficiencia es sólo un criterio, la nanotecnología también permitirá abaratar de manera drástica el coste de los colectores de luz mediante la tecnología de capa fina o de partículas. Las muestras de laboratorio de películas de célula solar, producidas con técnicas de capa similares a las utilizadas para los LED y OLED, ofrecen a un rendimiento de 100 vatios por 30 gramos de material. Esta radical disminución del consumo de materias primas en la producción energética la ha conseguido en Leipzig la empresa Solarion.

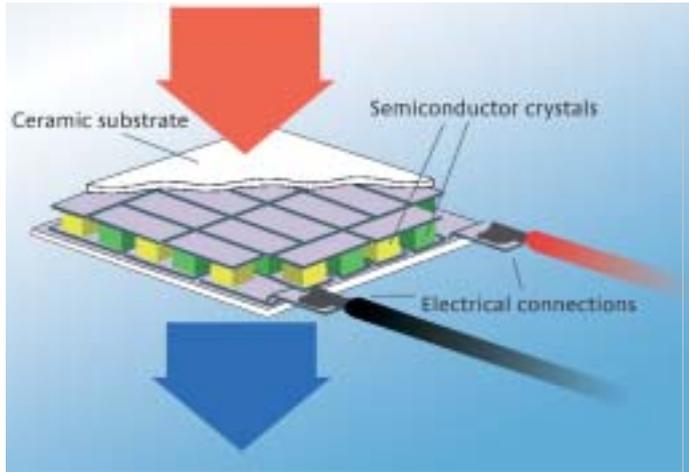
Los investigadores de Siemens afirman que las células solares orgánicas más recientes, que pueden imprimirse sobre películas de plástico y son muy baratas, dan un rendimiento del cinco por ciento. La capa fotoactiva tiene un grosor de sólo 100 nanómetros y actualmente se ha conseguido ya una duración de varios miles de horas de luz solar. Está previsto que los primeros productos con esta tecnología estén en el mercado para el 2005.

El espectro completo: Fachada de vidrio de uno de los vestíbulos del hotel Weggis a orillas del lago Lucerna iluminado en todos los colores del arco iris con 84.000 LED suministrados por Osram.

Los OLED (diodos orgánicos emisores de luz) se utilizarán en muchas de las pantallas del futuro.



Energía y medio ambiente



Módulo termoelectrico convencional: un flujo de calor se convierte en energía eléctrica mediante bloques de semiconductores. Las nanoestructuras están ayudando a esta tecnología a lograr altos niveles de eficiencia, abriendo así nuevos mercados.



La nanotecnología está insuflando nueva vida en muchas viejas ideas que habían fracasado debido a la ineficiencia de los materiales disponibles. Una de ellas es la idea de la generación de electricidad por procedimientos termoelectricos:

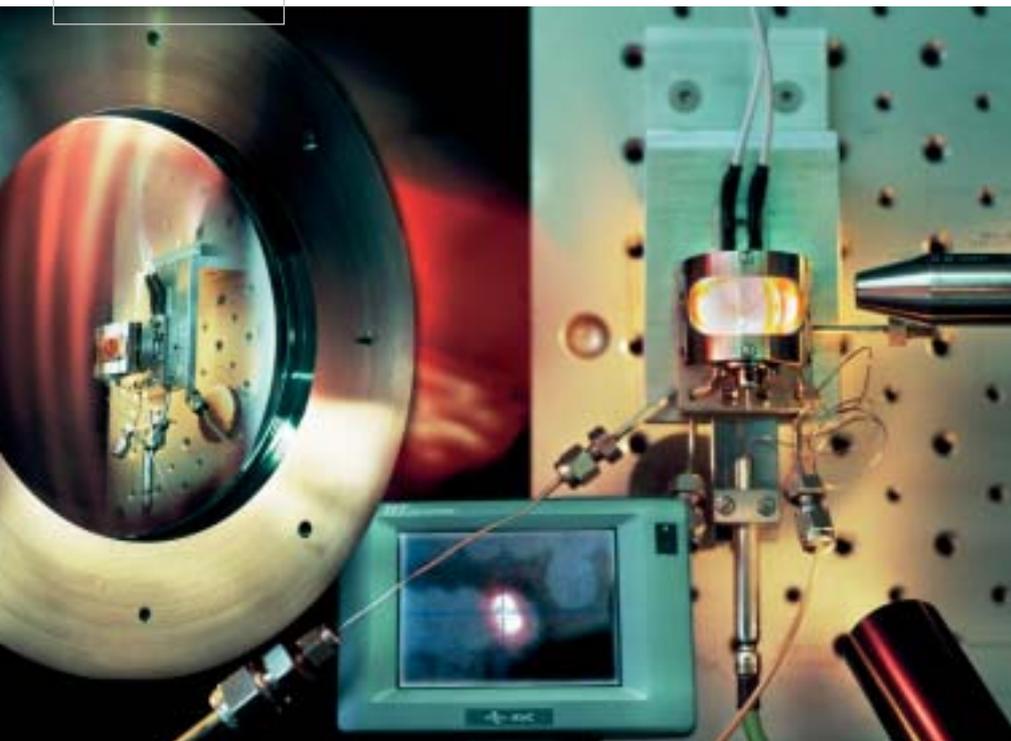
Electricidad a partir del calor, calor a partir de la electricidad: la termoelectricidad

Hay una amplia gama de efectos físicos conocidos, de los que el público en general apenas es consciente, que se han aprovechado con éxito modesto en algunos segmentos de mercado. Por ejemplo, la bolsa refrigeradora para coches, que enfría conectándose con el sistema de alimentación de corriente del vehículo. Dentro de la bolsa, invisible,

está la herencia que nos ha legado Jean Charles Athanase Peltier, un sabio francés que en 1834 descubrió el efecto que ahora lleva su nombre: un flujo de corriente a través del punto de contacto entre dos metales diferentes produce calor en un lado del contacto y frío en el otro. Trece años antes, el alemán Thomas Johann Seebeck había descubierto el efecto inverso, por el que un flujo de calor a través del punto de contacto entre dos metales distintos genera una corriente. Estos dos ilustres varones reverdecen hoy sus laureles gracias a la nanotecnología, que, por fin, hace posible desarrollar nuevos materiales con los cuales se aprovechan ambos efectos con buenos niveles de eficiencia.

Para la producción de tales materiales se emplean máquinas como las utilizadas para fabricar los LED. Estas máquinas aplican una capa de cinco nanómetros de telururo de antimonio sobre una capa de un nanómetro de telururo de bismuto y van repitiendo esta operación hasta que se crea una película semiconductor que

Tecnología química de micro-reacción para la producción eficiente de sustancias, incluidas las más exóticas.





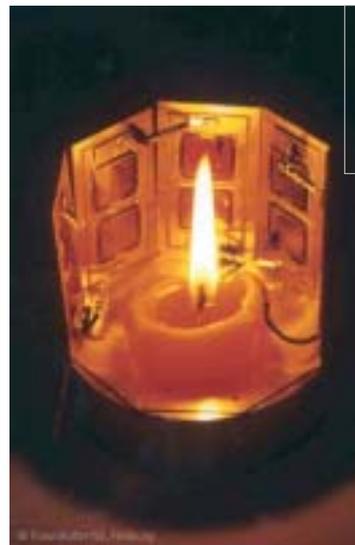
Reactores Aixtron para la investigación (izquierda) y para la producción de capas finas de semiconductores conectores con una precisión atómica (derecha).

habría hecho las delicias de Peltier y Seebeck: cuando la electricidad pasa a través de estas capas, un lado se calienta y el otro se enfría. La película puede estructurarse con mucha precisión, por lo que resulta muy adecuada para enfriar chips de manera muy precisa o hacer funcionar minúsculos reactores en un “laboratorio-en-un-chip”, en el que se reproduce DNA mediante un cambio rápido de temperatura. Es perfectamente concebible que, dados los grandes aumentos de eficiencia que se están consiguiendo, los elementos Peltier se conviertan en la opción tecnológica de toda la industria del frío. Por otra parte, el que disponga de fuentes baratas de calor, como el calor geotérmico, puede producir electricidad a precios muy rentables con estas capas termoeléctricas. Islandia podría convertirse en un potentado de la energía, gracias al hidrógeno generado por procedimientos electrolíticos.

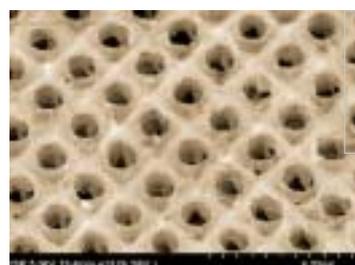
En la industria química, estas técnicas podrían transformar cantidades enormes de calor residual en electricidad, de manera silenciosa, eficiente y casi invisible, ien definitiva, pura nanotecnología!

Energía termofotovoltaica

La técnica termoeléctrica no es el único medio de convertir elegantemente el calor residual en electricidad. El procedimiento termofotovoltaico (TPV) utiliza la radiación térmica, la radiación infrarroja de los objetos calientes, que es invisible. La nanotecnología se aplica a las estructuras de los emisores, que adaptan el espectro de la fuente de calor a la sensibilidad espectral de las células termofotovoltaicas.



La luz de una vela basta para que las células termofotovoltaicas produzcan suficiente energía para hacer funcionar una radio.



Emisores de wolframio con superficie nanoestructurada para la adaptación del espectro infrarrojo.

Nanotecnología para el deporte y el ocio

El refinamiento continuo de la tecnología, que alcanza hoy en día la escala nanométrica, está dando nueva vida a viejas ideas que habían fracasado anteriormente. Entre ellas la de aprovechar la energía solar para volar.

El Ícaro II, planeador alimentado con energía solar, puede soportar las mismas cargas que un planeador normal y despegar solo.

Arriba: Llegada tras un vuelo record no oficial de Stuttgart a Jena.

En junio de 1979, Bryan Allen atravesó el Canal de La Mancha pedaleando un planeador, el Gossamer Albatros, y ganó las £ 100.000 del Premio Kremer. Los nuevos materiales habían permitido al constructor del aparato, Paul MacCready, construir la ligerísima estructura del Gossamer Albatros. En 1981, se logró también hacer un vuelo de larga distancia impulsado sólo por energía solar, aunque el avión, el Solar Challenger, fuera terriblemente frágil.

Un premio que da alas a la innovación: Al principio de los años 90, en memoria del infortunado pionero de la aviación Albrecht Ludwig Berblinger (“el sastre de Ulm”), el ayuntamiento de Ulm organizó un concurso para desarrollar un avión solar de tipo práctico. En julio de 1996, se alzó claramente con el premio el planeador de motor Ícaro II, construido por la Universidad de Stuttgart.

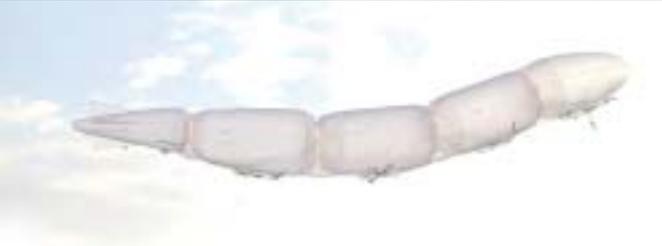
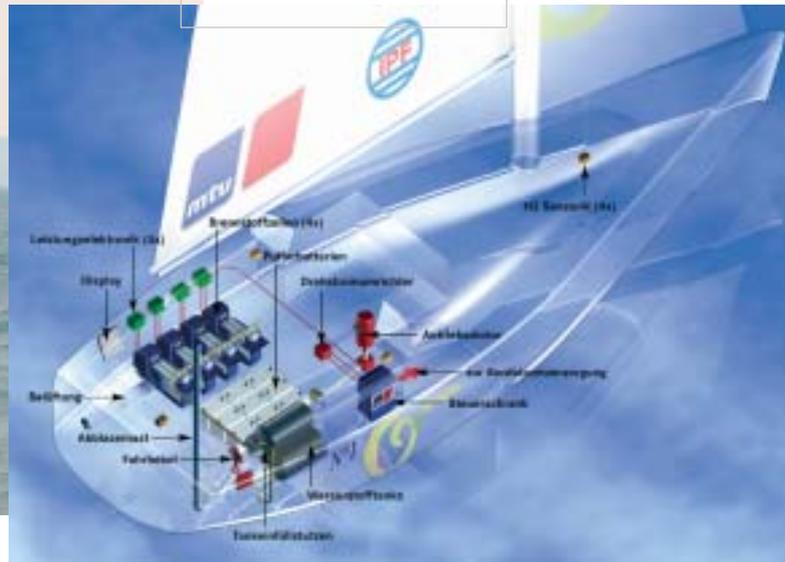
La NASA ha diseñado como sustituto de los satélites un avión solar experimental, el HELIOS, que vuela durante el día mediante la energía solar y por la noche gracias a un conjunto “recargable” de pilas de combustible. La altitud máxima alcanzada ha sido de casi 30.000 metros.

En 2003, se reunieron en Suiza expertos en termodinámica, aerodinámica, sistemas eléctricos, materiales compuestos, energía fotovoltaica, conversión de energía y simulación por ordenador – campos todos ellos en los que se aplica la nanotecnología – a fin de discutir un proyecto destinado a lograr el despegue de las nuevas tecnologías para asegurar un futuro compatible con el medio ambiente, despegue en el sentido literal de la palabra: aproximadamente para el 2009, este ambicioso proyecto aspira a llevar a Bertrand Piccard y Brian Jones, que ya dieron una vuelta al mundo en globo en 1999, de nuevo alrededor de la Tierra, ipero esta vez en un avión propulsado únicamente por energía solar y sin paradas!





Yate con pilas de combustible de MTU, Friedrichshafen, Lago Constanza. La nanotecnología puede ayudar a estos veleros a combinar la eficiencia con la elegancia. Otra idea plausible son las velas hechas de células solares textiles flexibles, aunque, en este caso, el material tendría que ser oscuro.



"Gusano de aire" de la universidad de Stuttgart, que serviría de repetidor para redes de radiotelefonía.

El Fuseproject: una pila de combustible impulsa el patinete silenciosamente por la ciudad.

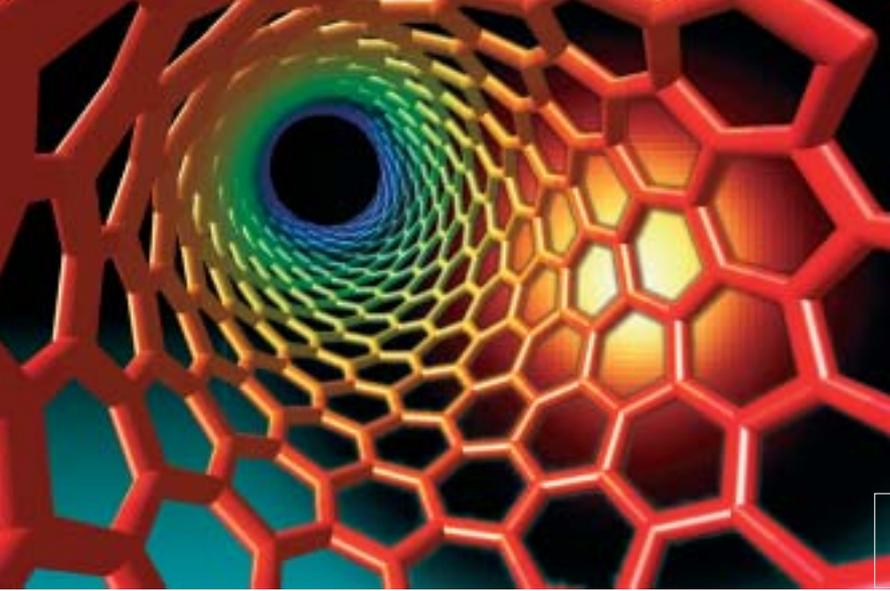
El proyecto podría ganar para estas nuevas tecnologías el respeto que merecen, y también dar lugar a toda una gama de nuevos vehículos, como aviones propulsados por la energía solar y guiados por ordenadores, por sensores y por GALILEO. Estos aparatos podrían volar silenciosamente y sin emitir gases, pilotados incluso por legos en el arte de la aviación. La libertad de movimiento no tendría límites en los cielos. En los lagos, como el de Mecklenburgo, quizás se deslizarán también un día los catamaranes solares. Los pedelecs, bicicletas asistidas por un motor

eléctrico, ayudarán a las personas mayores, que, sin esa ayuda, tendrían dificultades para desplazarse en bicicleta. En muchos lugares, se están impulsando los pequeños vehículos eléctricos para impedir que las ciudades de zonas de rápida industrialización desaparezcan bajo una nube de humos de escape.



El catamarán solar construido por Kopf Solar design GmbH presta ya servicio en Hamburgo.





Visiones

Nanotubos con Betelgeuse, una estrella gigante en cuya atmósfera pueden encontrarse los fulerenos.

La “calle transportadora”

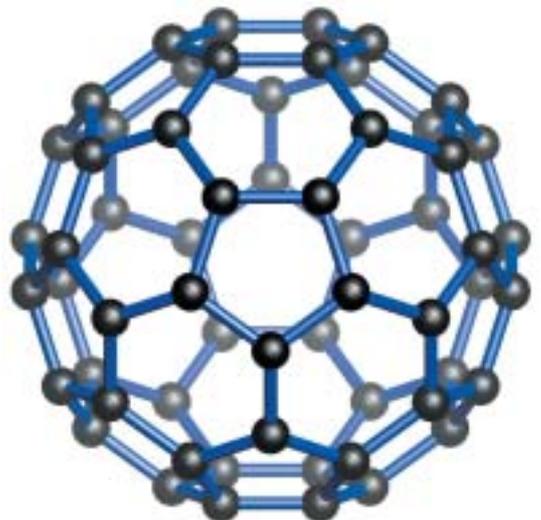
Con la nanotecnología, son concebibles incluso los sistemas de transporte más utópicos, por ejemplo la “calle transportadora”. Si llegan a conseguirse músculos artificiales utilizables, en lo cual se está trabajando actualmente, podemos imaginarnos una calle con dispositivos en movimiento permanente que transporten objetos mediante un movimiento oscilatorio, como los flagelos de las células, los cilios, que quitan el polvo de las células pulmonares como si abanicaran o impulsan a los paramecios. La idea se presta a muchas mejoras y perfeccionamientos: por ejemplo, se está considerando seriamente el concepto de motores lineares, motores diminutos que trabajan según este principio y funcionan con músculos vegetales o “forisomas”. Otros candidatos a músculos artificiales son los tejidos fabricados con nanotubos de fullereno (una de las formas en las que se presenta el carbono). Pero esta idea no es tan fantástica como el ascensor a los planetas, que la NASA ha estudiado muy seriamente, y que fue concebido primero por un pionero espacial ruso, Konstantín Eduárdovitch Tsiolkovski.

Konstantín Eduárdovitch Tsiolkovski.



Nanotubos de carbono para la puesta en órbita

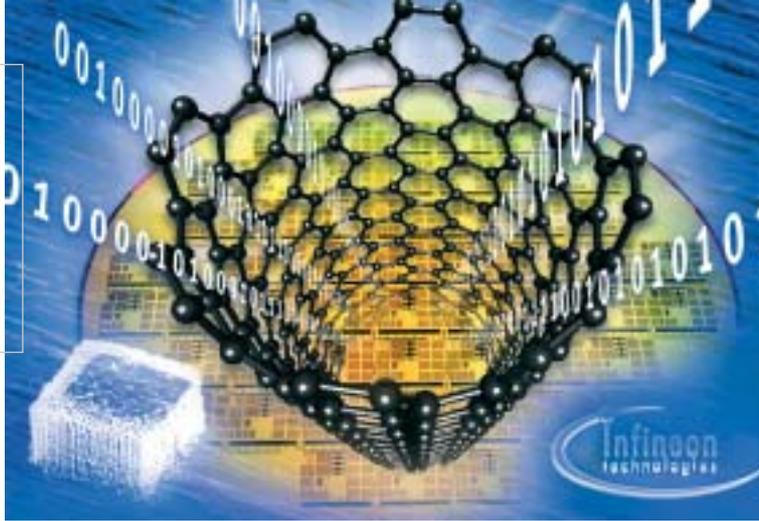
La fórmula vino del cosmos: en las envolturas de estrellas viejas como Betelgeuse, una gigante roja, giran en torbellino muchos elementos diversos. Al reaccionar entre sí, forman, entre otras cosas, nanocristales de carburo de silicio, óxido de silicio, corindón e incluso diamante, como se ha comprobado a partir del estudio de los meteoritos que se han formado de este polvo. Para saber más al respecto, los científicos reprodujeron en el laboratorio las condiciones que se dan en estas estrellas y en 1985 encontraron rastros de una sustancia completamente desconocida, que resultó ser un nuevo compuesto de carbono: una molécula hueca con una forma muy parecida a un balón de fútbol. Echando un vistazo al cielo se observó recientemente que esta molécula también se forma en las envolturas de las estrellas.



Los fulerenos, formados por espacios huecos de redes de carbono: toda una esperanza en la búsqueda de materiales exóticos.



Moléculas gigantes como ordenadores principales: los nanotubos podrían ser la base para los microprocesadores de alto rendimiento del futuro.

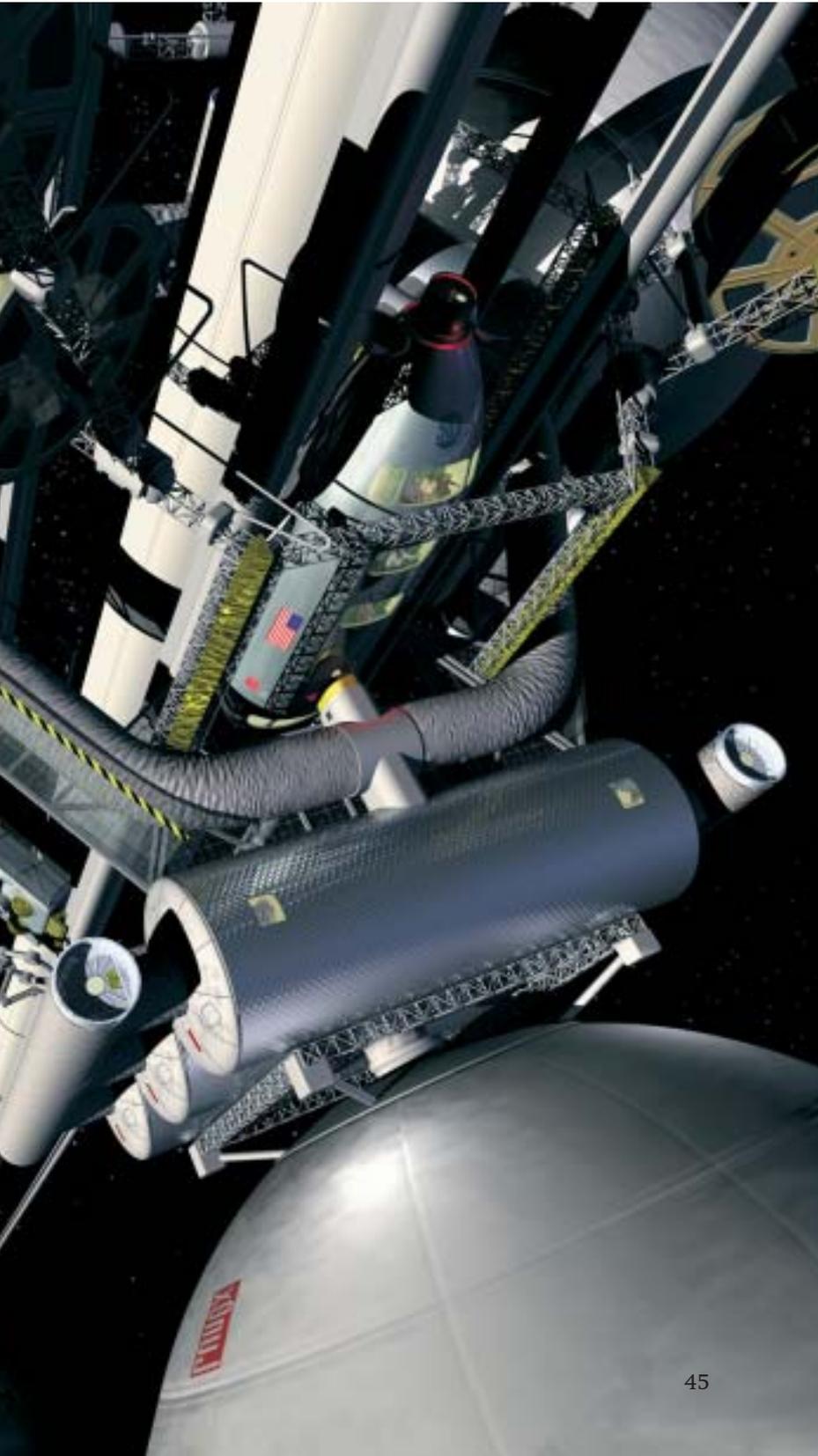


Visión: un ascensor a los planetas.

Robert Curl, galardonado con el Premio Nobel por sus trabajos sobre los fullerenos, nos los muestra en las yemas de los dedos.

Hoy se conocen muchas variantes de carbonos enlazados reticulares, entre ellos los nanotubos de carbono, minúsculos tubos de carbono que pueden trenzarse para crear materiales enormemente compactos. En principio, la cuestión de la producción en serie de estos nanotubos está resuelta desde el punto de vista técnico.

A estas fibras compuestas maduras de nanotubos se les atribuye una resistencia a la tracción (rotura) y una tenacidad de fractura astronómicas. Actualmente la NASA está estudiando muy seriamente un proyecto que, utilizando una especie de truco indio en el uso de cuerdas, se propone obtener un “ascensor a las estrellas”. Una de las posibilidades que se está barajando es estirar hasta el espacio una tira de material compuesto de nanotubos de un metro de ancho y más fino que un papel, utilizando la tecnología que se aplica a los cohetes y satélites. Un extremo estaría en el espacio a una altitud de alrededor de 100.000 kilómetros mientras que el otro se anclaría en el Pacífico, en un algún punto del Ecuador. La tira se mantendría tensa por la acción combinada de la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga. A lo largo de la tira podrían transportarse toneladas de carga en órbita alrededor de la Tierra o incluso entre Venus y el cinturón de asteroides. Los resultados prácticos de este proyecto visionario serían materiales de construcción de alta resistencia para edificios de gran altura, puentes y, por supuesto, para ascensores.



Oportunidades y riesgos

El potencial de la nanotecnología para hacer el bien o, al menos, par obtener beneficios es sin duda inmenso. Debido a las innovaciones en muchas campos de aplicación, se piensa que esta tecnología tiene un potencial comercial enorme. Existen ya varios centenares de empresas en Europa que se dedican a aplicaciones comerciales de la nanotecnología, dando trabajo a decenas de miles de empleados, generalmente muy cualificados. A este respecto, los científicos y los hombres de negocios son unánimes: la nanotecnología es mucho más que una nueva moda publicitaria.

¿Demasiado bueno para ser verdad? La idea de una super-plaga, posible al menos en teoría, ha hecho ya su entrada en la literatura: éste es el tema del best-seller "Presa" de Michael Crichton. En esta novela, las nanopartículas inteligentes se unen en enjambres creando seres semiinteligentes que se apoderan de sus creadores. Otra visión sombría es la del nano-profeta

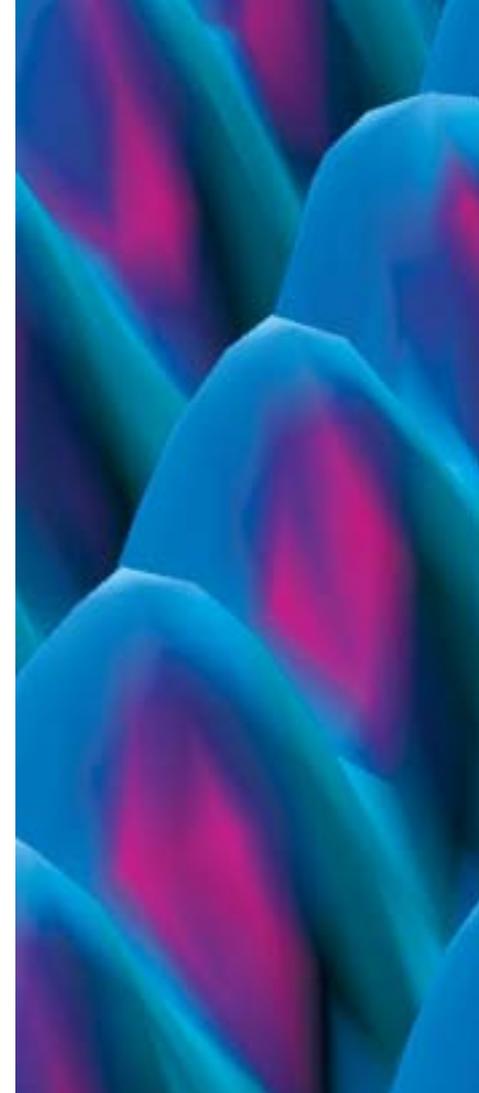
americano Eric Drexler, que considera el mundo amenazado por la llamada "plaga gris" ("gray goo"), una nube gris de nano-robots descontrolados.

Eric Drexler considera posible construir robots de millonésimas de

milímetro, programables y capaces de crear sustancias nuevas y de mayor tamaño a partir de las materias primas y sostiene que, si este proceso se descontrolara, crearía, en vez de algo maravilloso, esta pasta gris (la "grey goo"), que podría ser contagiosa y peligrosa tanto para el hombre como para las máquinas.

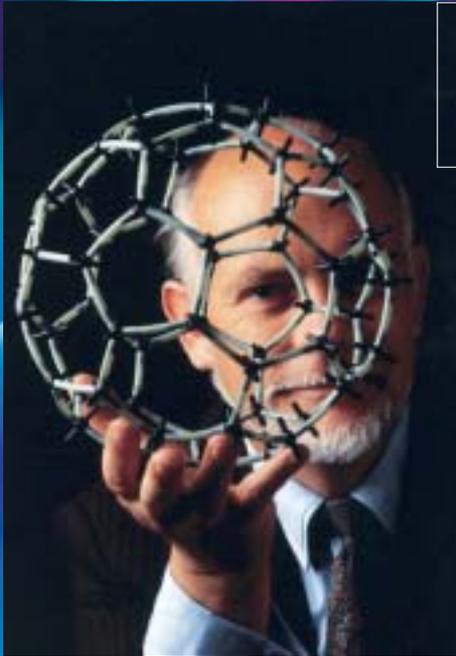
La mayor parte de los expertos no se toman en serio esta idea. Por ejemplo, Richard Smalley, el ganador del Premio Nobel de Química de 1996, destaca que la especificidad de los enlaces químicos impide que todos los átomos o moléculas se combinen entre sí.

Teniendo en cuenta el problema de los "dedos gordos y grasientos", la "plaga gris" ("gray goo") de Eric Drexler, la propagación incontrolada de nano-robots, es tan inverosímil como la idea de que la nanotecnología podría convertir el mundo en ositos de gominola.



Sólo eso haría la idea de un nano-robot, es decir, de un robot nanoscópico o "montador", muy poco probable. Pero es que, además, si este "montador" quisiera crear materia uniendo átomos, tendría que utilizar unos "dedos", que, a su vez, consistirían en átomos y tendrían que tener necesariamente un grosor mínimo.

Pero no sólo habría que agarrar el átomo seleccionado, durante el montaje habría que controlar todos los átomos de un nanómetro cúbico y entonces



Richard Smalley, Premio Nobel de Química, considera, como la mayoría de los científicos, que los riesgos de la nanotecnología son controlables.

aquí el problema de los dedos gordos. A éste hay que añadir el problema de los dedos pegajosos: los átomos agarrados, según su tipo, no podrían cogerse y depositarse sin más, sino que empezaría, a formar enlaces, fenómeno bien conocido en nuestra vida cotidiana: no es tan fácil coger de nuevo una bolita que se pega a un dedo. Y éstas son objeciones fundamentales que no pueden eludirse fácilmente. Los nano-robots mecánicos son, por tanto, imposibles. Richard Smalley tiene razón. El temor a que ejércitos de nano-máquinas descontroladas puedan asolar el mundo transformándolo en un mejunje gris carece de fundamento.

Lo que sí parece más plausible es que las nanopartículas puedan provocar efectos no deseados en el medio ambiente y las personas. Por ejemplo, las nanopartículas podrían ser dañinas para la salud debido a su minúsculo tamaño, que incluso les permite penetrar en las células del cuerpo humano y hasta saltar las barreras biológicas (como la barrera sangre-cerebro). Dado que las nanopartículas, al igual que otros polvos ultrafinos, como el hollín del gasóleo de los coches, son sustancias con efectos desconocidos, hay que llevar a cabo primero investigaciones científicas para cerciorarse de que sean seguras. Hasta ahora, se sabe muy poco sobre la seguridad de los nanopartículas, por eso los

a cabo los experimentos necesarios para encontrar respuesta lo antes posible a los problemas planteados. Sin embargo, los riesgos parecen ser controlables, puesto que las nanopartículas que se encuentran en la naturaleza son sumamente “pegajosas”: se agrupan muy rápidamente en grumos de mayor tamaño, de los que el cuerpo puede librarse muy fácilmente. Sabemos ya que algunas nanopartículas no son dañinas para la salud. Por eso se utilizan en las cremas de protección solar como factor de protección contra la luz o se mezclan con otros materiales a los que van enlazadas de manera que el usuario ni siquiera entra en contacto con ellas. La industria también está aplicando las medidas de seguridad adecuadas para evitar cualquier riesgo sanitario a sus clientes o empleados.

Mientras que las visiones sobre los nano-robots son hipotéticas, las promesas de los especialistas en materiales que trabajan a escala nanoscópica parecen muy reales. Los primeros productos están ya ahí, como los cabezales lectores de disco duro, de alta sensibilidad, a base de capas finas de veinte nanómetros de grueso o menos. La nanoelectrónica forma parte ya de todos los ordenadores portátiles. Como tecnología potente que es, la nanotecnología tendrá también naturalmente efectos secundarios, haciendo superfluas muchas tareas simples. En su lugar surgirán nuevos sectores de actividad, como la formación continua, por ejemplo, que cada vez es más importante y que, con la ayuda de la nanotecnología, incluso puede ser divertida.

Más información

La carrera de nanoingeniero

Cualquiera que visite un centro de investigación donde se trabaje intensivamente en el campo de la nanotecnología podrá ver a todos los especialistas de las ciencias naturales trabajando codo con codo: biólogos, químicos, ingenieros de todas las especialidades, cristalógrafos, mineralogistas y físicos. El denominador común es el nivel del átomo y las matemáticas una parte esencial del lenguaje común. Por tanto, todas las carreras clásicas de las ciencias naturales pueden llevar a la nanotecnología, aunque actualmente ésta empieza a afirmarse como disciplina independiente, por ejemplo en la Universidad de Würzburg. El que inicie la carrera de nanotecnología, dice Alfred Forchel de la cátedra de Física de la Universidad de Würzburg, no debe temer estar siguiendo una tendencia a corto plazo, (extracto abi 10/2003 de la Universidad de Würzburg).

“Dado que la tendencia a la miniaturización no es una moda pasajera, sino que tiene ya mucho historial, es previsible que, en muchos campos, las aplicaciones se hagan a escalas cada vez más pequeñas, de lo micro a lo nano, en todas las disciplinas, desde la tecnología de la información a la química. No hace falta ser clarividente para pensar que todo continuará encogiéndose para alcanzar el tamaño más pequeño posible (un ejemplo de esta tendencia son los elementos de construcción).”

Los físicos, los químicos y otros especialistas de las ciencias naturales pueden alegar, con razón, que, en cierta manera, siempre se han dedicado a la nanotecnología. Los temas de la física atómica clásica, las moléculas estudiadas por los químicos, se sitúan en el ámbito del nanocosmos. Con la capacidad que hoy ofrecen las técnicas experimentales, por ejemplo, la estructuración atómica detallada de “clusters”, capas y chips, y con la disponibilidad de sustancias de gran pureza y la comprensión de las estructuras biológicas más minúsculas, se ha abierto una multitud de posibilidades completamente nuevas que

puede aprovechar la ingeniería más orientada a las aplicaciones. Alfred Forchel considera las perspectivas de los nano-ingenieros profesionales como muy buenas:

“Por supuesto, las oportunidades de encontrar trabajo en nuestro sector también dependen de la coyuntura. Pero, a menudo, lo que decanta la balanza es una cuestión relativamente menor, ya que, cuando las empresas reciben pilas de solicitudes, es difícil destacar. La formación práctica en la industria implica que hay por lo menos una empresa que el estudiante conoce más de cerca. Nuestros estudiantes pueden también redactar sus tesis mientras trabajan en la industria, dando así un paso más hacia un puesto de trabajo. Además, estudian por lo menos una asignatura no técnica, como gestión empresarial, de modo que cuenten también con otros conocimientos básicos importantes durante su vida profesional.”

Sin embargo, para los nano-ingenieros, no hay ningún sustituto de una formación sólida en ciencias naturales, incluidas las matemáticas, ni en Würzburg ni en ninguna parte:

No basta con soñar con el desarrollo de un submarino minúsculo que pueda viajar a través de las venas. Antes de llegar a esa etapa debe invertirse una cantidad enorme de tiempo y de trabajo. Hay que aprender a describir matemáticamente y dominar la física y la química, o sea, los conocimientos básicos, tarea difícil y dura. Sin embargo, no hay razón para asustarse: las nano-fantasías pueden ayudar a superar el trance.

La idea del submarino circulando por las venas era sólo una película: la nanotecnología es otra cosa, que, por cierto, puede ser muy rentable.

Contactos, enlaces, bibliografía

Este folleto fue preparado originalmente por el Ministerio alemán de Investigación (BMBF). Por lo tanto, estaba destinado inicialmente a un público alemán. Para consultar otra bibliografía y otros sitios web de carácter europeo en general se recomienda visitar el portal de Internet de la Comisión Europea sobre nanotecnología (www.cordis.lu/nanotechnology).

Estudios de nanotecnología en Alemania:

Tecnología de nanoestructura en Würzburg
Universidad de Würzburg

Sitio Internet: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>
Contacto: ossau@physik.uni-wuerzburg.de

Biotechnologías y nanotecnologías en Iserlohn
Escuela Técnica de Südwestfalen

Sitio Internet: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>
Contacto: Werner@fh-swf.de

Ciencia molecular en Erlangen

Universidad de Erlangen-Nürnberg
Sitio Internet: ciencia de <http://www.chemie.uni-erlangen.de/Molecular-Science>
Contacto: hirsch@chemie.uni-erlangen.de

Master en el microtecnología y nanotecnología en Múnich

Escuela Técnica de Múnich
Sitio Internet: http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm
Contacto: sotier@physik.fh-muenchen.de

Ciencia nanomolecular en Bremen

Universidad Internacional de Bremen
Sitio Internet: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>
Contacto: f.mueller-plathe@iu-bremen.de

Ciencias de la nanoestructura. Ciencias nanoestructurales y ciencias moleculares en Kassel

Universidad de Kassel
Sitio Internet: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>
Contacto: masseli@physik.uni-kassel.de

Curso experimental para la obtención del diploma de Bachelor of Science en biofísica o nanociencias en Bielefeld

Universidad de Bielefeld
Sitio Internet: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>
Contacto: dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de

Curso para la obtención del diploma de "Micro y nanoestructuras" en Saarbrücken

Universidad del Sarre
Sitio Internet: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>
Contacto: wz@lusi.uni-sb.de

Referencias bibliográficas:

BMBF-Programm IT-Forschung 2006 - Förderkonzept Nanoelektronik

Ministerio Federal de Educación e Investigación; Bonn, marzo, 2002.

Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen

Ministerio Federal de Educación e Investigación; Bonn, octubre, 2002.

Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie

Ministerio Federal de Educación e Investigación; Bonn, marzo de 2004.

Bachmann, G.:

Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28)

VDI (Centro tecnológico del BMBF), 1998.

Luther, W.:

Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen

Technologieanalyse (Band 43)
VDI (Centro Tecnológico del DLR); 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:

Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie

Technologiefrüherkennung (Band 38)
VDI (Centro Tecnológico del BMBF); 2004.

Hartmann, U.:

Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts

ZPT, Saarbrücken, 2001.

Rubahn, H.-G.:

Nanophysik und Nanotechnologie

Teubner Verlag 2002

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING

Ministerio Federal de Educación e Investigación; Bonn, octubre de 2003.

Enlaces en Internet

Portal de nanotecnología de la UE
www.cordis.lu/nanotechnology

Portal europeo de nanotecnología
www.nanoforum.org

Nanotruck – Reise in den Nanokosmos
www.nanotruck.net

Internetreise-Abenteurer hintern Komma
www.nanoreisen.de

News un diskussionforen zur Nanotechnologie
www.nano-invests.de

Nanotechnologieförderung des BMBF
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Nanotechnologieportal des VDI-TZ
www.nanonet.de

Glosario

Pila de combustible: Dispositivo en que el hidrógeno y el oxígeno (generalmente del aire) reaccionan sin combustión formando agua y produciendo energía eléctrica con un alto grado de rendimiento.

Filamentos del bisco: Hilos técnicamente muy complejos creados por los mejillones para fijarse a las superficies. Son tan elásticos como el caucho en un extremo y tan rígidos como el nilón en el otro.

NTC: Nanotubos de carbono

Cluster: Agrupación de partículas minúsculas, en este caso átomos. Los “clusters” generalmente tienen propiedades diferentes de las que ofrece la forma sólida del mismo material, entre otras cosas porque contienen una mayor proporción de átomos superficiales.

Diatomeas: Organismos unicelulares minúsculos que viven en agua dulce y salada, con un esqueleto muy complejo de ácido silícico (dióxido de silicio más agua). Las diatomeas realizan la fotosíntesis y por tanto tienen también estructuras conductoras de la luz.

DNA: Ácido desoxirribonucleico. Molécula gigante en forma de doble hélice que contiene información para la construcción de un organismo y fórmulas para multitud de proteínas.

ESEM: Microscopio electrónico de barrido medioambiental, microscopio electrónico de barrido especial que permite la entrada de aire y humedad en el soporte de la muestra. Con este microscopio, no hay que tratar especialmente las muestras, por ejemplo, con vapor de oro.

Forisomas: fitoproteínas así denominadas a partir de la palabra latina que significa “hoja de puerta”, estas proteínas se están investigando como posibles músculos artificiales nanoscópicos.

Láser de electrones libres: Aparato que genera luz de láser mediante un haz de electrones acelerado a lo largo de un tubo de vacío.

Doblador de frecuencia: Aquí, material que duplica la frecuencia de la luz, por ejemplo convirtiendo la luz infrarroja en luz verde.

Semiconductor: Material cuyas propiedades eléctricas pueden variarse de manera que funcione como aislador o como conductor. Los semiconductores se han convertido en uno de los componentes más importantes de productos industriales modernos como los ordenadores y los teléfonos móviles.

Laboratorio en un chip: Microprocesadores muy complejos, actualmente en su fase final de desarrollo, que con la ayuda de la micromecánica, los microfluidos, los nano-sensores y la nanoelectrónica pueden llevar a cabo análisis complejos de células para los que todavía hoy se requieren los recursos de un instituto de investigación completo. El nombre también se utiliza para portadores de objetos microscópicamente impresos relativamente simples.

Leucocitos: Células sanguíneas blancas que defienden el organismo absorbiendo cuerpos extraños en la sangre como virus y bacterias, así como restos de células y células cancerígenas, o que, como linfocitos, producen anticuerpos. Los anticuerpos son moléculas adhesivas muy específicas.

Hilo de fibra óptica: Hilo que conduce la luz a distancias largas mediante un material sumamente transparente, generalmente para la transmisión de datos, pero cada vez más, también, para la transmisión de energía.

Litografía: Se usa aquí en el sentido de técnica de producción de estructuras microscópicas, generalmente mediante una capa fotorreactiva, que se marca con haces de luz o electrones y se revela, ocultando o dejando expuestas, según se desee, partes de la superficie para el grabado y y otros procesos.

Máscara: Especie de plantilla con las estructuras de un chip que se transfiere mediante técnicas litográficas a una oblea.

Campos de microlentes: Elementos microópticos, que son importantes, por ejemplo, para la transmisión de información mediante la luz.

Micelas: Estructuras esféricas minúsculas que se utilizan en la naturaleza, en este caso por los mejillones, como contenedores.

Fase: Se usa aquí en el sentido de situación o estado, como ordenado/aleatorio o cristalino/amorfo

Fotosíntesis: Las plantas verdes, las algas y las cianobacterias (algas azules) obtienen su energía de la fotosíntesis. Con la ayuda de la luz del sol, convierten el dióxido de carbono y el agua en azúcares y oxígeno. La fotosíntesis funciona con un rendimiento energético primario asombroso: más del 80 por ciento.

Cristales piezoeléctricos: Los elementos piezoeléctricos generan electricidad cuando se comprimen o se estiran, produciendo, por ejemplo, chispas en encendedores “electrónicos”. Inversamente, un cristal piezoeléctrico puede ser conformado por una corriente eléctrica a una escala de fracción del diámetro de un átomo.

Proteínas: Moléculas de grandes dimensiones producidas por los ribosomas de la célula a partir de aminoácidos. Estas moléculas actúan en las células en parte como herramientas nanoscópicas y en parte como almacén de todos los tejidos, desde las lentes del ojo a las uñas. Actualmente se trabaja en descifrar el proteoma, la suma de todas las proteínas y sus interacciones en una célula. Estos trabajos están todavía en una fase inicial.

Ordenador cuántico: Ordenador que utiliza las reglas propias de la mecánica cuántica para solucionar problemas, como la codificación de información, que son prácticamente irresolubles con ordenadores convencionales. Se encuentra todavía en la etapa teórica.

Reflectinas: Proteínas especiales utilizadas por los organismos para crear estructuras que reflejen la luz.

Ribosomas: Nanomáquinas que pueden producir multitud de proteínas y están controladas por una tira de ADN que lleva la información genética .

Radiación de rayos X: Radiación electromagnética de onda corta, utilizada entre otras cosas en el análisis de estructuras de cristal para determinar la forma nanoscópica de las moléculas.

Corriente de túnel: Corriente que teóricamente no debería fluir porque atraviesa un espacio aislante, pero que se produce en el nanocosmos, aunque entonces depende mucho del tamaño del espacio. Este efecto ha hecho posible el microscopio de barrido de efecto túnel.

Radiación ultravioleta: Radiación de onda corta que permite la producción de estructuras de microprocesador muy finas.

Enlace Van der Waals: Enlace químico débil entre moléculas, cuya causa última son las propiedades de los espacios vacíos de las moléculas. Los enlaces Van der Waals también determinan las propiedades del agua y, por tanto, de todos los procesos vitales.

Imágenes

- P. 4, arriba: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidad de Hamburgo
P. 4, abajo: Lambda Physik AG, Göttingen
P. 5, arriba: Infineon Technologies AG, Munich
P. 5, abajo: BergerhofStudios, Colonia
P. 6, arriba a la izquierda: Chemical Heritage Foundation
P. 6, arriba y abajo a la derecha, abajo a la izquierda: BergerhofStudios, Colonia
P. 7, arriba a la izquierda: NASA/ESA
P. 7, arriba a la derecha: DESY, Hamburgo
P. 7, centro a la izquierda: BergerhofStudios, Colonia
P. 7, abajo a la derecha: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universidad de Kiel
P. 8, arriba a la izquierda: REM-Labor, Universidad de Basilea
P. 8, secuencia de imágenes, de arriba abajo: BergerhofStudios, Colonia; ídem; ídem; REM-Labor, Universidad de Basilea; Comité Nobel Estocolmo (retocada); DESY, Hamburgo
P. 9, arriba a la izquierda: Instituto Botánico, Universidad de Bonn
P. 9, arriba a la derecha: REM-Labor, Universidad de Basilea
P. 9, secuencia de imágenes, de arriba abajo: BergerhofStudios, Colonia; ídem; Fraunhofer Gesellschaft; Instituto Botánico, Universidad de Bonn; ídem; TU Berlín, FU Berlín
P. 9, imagen de fondo: BASF AG
P. 10, arriba a la izquierda y arriba a la derecha: MPI für Metallforschung, Stuttgart
P. 10, centro a la derecha: ESA
P. 10, abajo a la izquierda: MPI für Metallforschung, Stuttgart
P. 11, arriba a la izquierda: Ostseelabor Flensburg, siguiente: BergerhofStudios, Colonia
P. 11, arriba a la derecha: Universidad de Florencia, Italia
P. 11, centro a la derecha: Instituto de Paleontología, Universidad de Bonn
P. 11, abajo a la izquierda: BergerhofStudios, Colonia
P. 11, abajo a la derecha: SusTech, Darmstadt
P. 12, arriba, centro y abajo a la derecha: Bell Laboratories, EE.UU.
P. 12 izquierda: Cátedra de Bioquímica, Universidad de Ratisbona
P. 13, arriba: Institut für Neue Materielien, Saarbrücken
P. 13, centro a la derecha: Degussa AG Advanced Nanomaterials
P. 13, abajo a la derecha: Institut für Geophysik, Universidad de Munich
P. 13, abajo: Institut für Physikalische Chemie, Universidad de Hamburgo
P. 14, arriba y abajo a la izquierda: ESA
P. 14, abajo a la derecha: IBM Corporation
P. 15, arriba y centro a la izquierda: Physik IV, Universidad de Augsburg
P. 15, centro a la derecha y centro: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidad de Hamburgo
P. 15, gráfico abajo a la derecha: BergerhofStudios, Colonia
P. 15, abajo: Universidad de Hawai, Honolulu
P. 16, izquierda: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
P. 17, arriba a la derecha: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen
P. 17, abajo a la izquierda: IHT RWTH Aquisgrán
P. 17, abajo a la derecha: Schott AG, Maguncia
P. 18, arriba a la izquierda: Bayer AG, Leverkusen
P. 18, abajo a la izquierda: MPI für Quantenoptik, Garching
P. 19, todas las imágenes: DESY, Hamburgo
P. 20, arriba a la izquierda: BergerhofStudios, Colonia
P. 20, abajo a la derecha: Institut für Neuen Materielien, Saarbrücken
P. 21, arriba a la izquierda: HILIT, Programa Joule III de la UE
P. 21, arriba a la derecha: NASA/ESA
P. 21, abajo a la derecha: Universidad de Stuttgart
P. 22, todas las imágenes: BergerhofStudios, Colonia
P. 23, arriba a la izquierda: National Semiconductor, Feldafing
P. 23, abajo a la derecha: Advanced Micro Devices, Dresde
P. 24, arriba a la derecha: Gráfico: BergerhofStudios, Colonia
P. 24, centro a la izquierda: Experimentalphysik IV RUB, Bochum
P. 24, abajo: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universidad de Kiel
P. 25, arriba a la derecha: Gráfico: BergerhofStudios, Colonia
P. 25, abajo: IHT RWTH Aquisgrán
P. 26, arriba a la derecha: IBM Corporation
P. 26, abajo a la izquierda: Infineon Technologies AG, Munich
P. 26, abajo a la derecha: IBM/Infineon, MRAM Development Alliance
P. 27, arriba: Experimentalphysik IV RUB Bochum
P. 27, centro: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidad de Hamburgo
P. 27, derecha: Cátedra de Nanoelectrónica, RUB Bochum
P. 27, abajo: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Maguncia
P. 28: Siemens AG, Munich
P. 29, arriba a la derecha: Nanosolutions GmbH, Hamburgo
P. 29, centro: Institut für Neue Materielien, Saarbrücken
P. 30, abajo: Siemens AG, Munich
P. 30, arriba: DaimlerChrysler AG
P. 30, abajo a la izquierda: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen
P. 30, abajo a la derecha: Universidad de Wisconsin, Madison
P. 31, arriba: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
P. 31, centro: Infineon Technologies AG, Munich
P. 31, abajo a la izquierda: Archivo de prensa de VW
P. 31, abajo a la derecha: Robert-Bosch GmbH, Stuttgart
P. 32, arriba a la izquierda: Bayer AG, Leverkusen
P. 32, arriba a la derecha: Institut für Neue Materielien, Saarbrücken
P. 32, abajo a la izquierda: Keramag AG, Ratingen
P. 33, arriba: BASF AG, Ludwigshafen
P. 33, centro: MTU Friedrichshafen
P. 33, abajo a la derecha: Siemens AG, Munich
P. 34, arriba a la izquierda: Bayer AG, Leverkusen
P. 34, arriba a la derecha: Siemens AG, Munich
P. 34, abajo: Infineon Technologies AG, Munich
P. 35, arriba a la izquierda: Siemens AG, Munich
P. 35, arriba a la derecha: Siemens AG, Munich
P. 35, centro: Charité Berlin/ Institut für Neue Materielien, Saarbrücken
P. 36, arriba a la derecha: BergerhofStudios, Colonia
P. 36, izquierda: Infineon Technologies AG, Munich
P. 36, derecha: IIP Technologies, Bonn
P. 37, arriba a la izquierda: Siemens AG, Munich
P. 37, arriba a la derecha: Fraunhofer ISIT
P. 37, centro a la derecha: Universidad de Oxford
P. 37, abajo a la izquierda y a la derecha: Infineon Technologies AG, Munich
P. 38, arriba a la izquierda: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Ratisbona
P. 38, abajo: Gráfico: BergerhofStudios, Colonia
P. 39, arriba: Park Hotel Weggis, Suiza
P. 39, abajo: Siemens AG, Munich
P. 40, arriba a la izquierda: BergerhofStudios, Colonia
P. 40, abajo a la izquierda: Bayer AG, Leverkusen
P. 41, arriba: AIXTRON GmbH, Aquisgrán
P. 41, derecha: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg
P. 42: Institut für Flugzeugbau, Universidad de Stuttgart
P. 43, arriba a la izquierda y a la derecha: MTU Friedrichshafen
P. 43, centro a la izquierda: Institut für Luft- und Raumfahrt-Konstruktionen, Universidad de Stuttgart
P. 43, centro a la derecha: Fuseproject
P. 43, abajo: Kopf Solardesign GmbH, Hamburgo
P. 44, arriba a la izquierda: collage: BergerhofStudios, Colonia
P. 44, abajo a la derecha: RWTH Aquisgrán
P. 45, arriba a la izquierda: Siemens AG, Munich
P. 45, arriba a la derecha: Infineon Technologies AG, Munich
P. 45, abajo: NASA
P. 46, centro: BergerhofStudios, Colonia
P. 47, IBM Corporation, imagen inserta: Siemens AG, Munich



EUROPEAN
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

Contact:

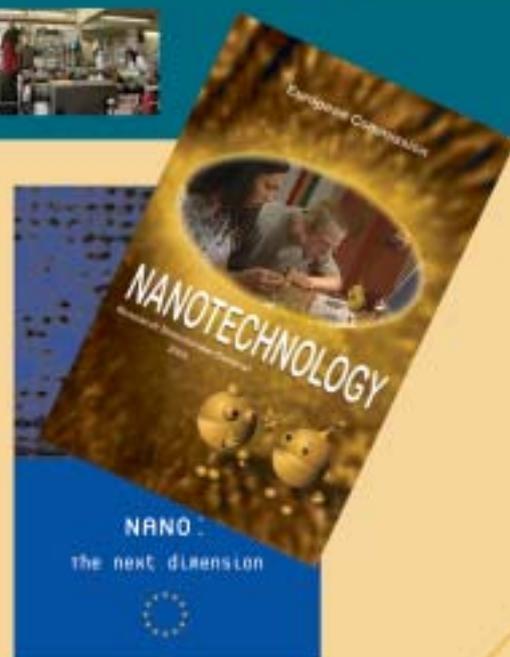
Renzo Tomellini, European Commission - email: renzo.tomellini@cec.eu.int

Industrial technologies websites:

http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html

<http://www.cordis.lu/fp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES, KNOWLEDGE-BASED MATERIALS, NEW PRODUCTION

Comisión Europea

EUR 21151 — La nanotecnología. Innovaciones para el mundo del mañana

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas

2004- 56 p. – 21,0 x 29,7 cm

ISBN 92-894-7498-X

La nanotecnología se considera la tecnología clave del siglo XXI: una tecnología que puede ofrecer soluciones a muchos de los problemas actuales mediante materiales, componentes y sistemas más pequeños, más ligeros, más rápidos y con mejores prestaciones. La nanotecnología abre nuevas oportunidades de mercado y puede hacer también algunas aportaciones esenciales a la protección de la salud y el medio ambiente.

La finalidad de este folleto es mostrar al público qué es la nanotecnología y fomentar así la discusión al respecto. Mediante la descripción de sus bases científicas, sus avances tecnológicos, sus campos de aplicación y su posible evolución futura, se traza un panorama complejo y amplio de la nanotecnología tal como se da en nuestros días.