

inalcanzables y a la incapacidad tecnológica de miniaturizar aún más los dispositivos electrónicos. La técnica de fotolitografía, que se utiliza actualmente para fabricar *microchips*, tiene dificultad en producir unidades de tamaño menor a los 130 nanómetros por lado. La técnica con la que se graban los *microchips* de forma química se conoce como *dry etching* o método de grabado seco y en ella los reactivos que exponen las partes deseadas del metal se aplican en forma gaseosa (no en disolución como se hace en la técnica de grabado convencional) sobre las películas metálicas soportadas en el polímero. Aún por medio de estas técnicas tan sofisticadas, el exponer por grabado las minúsculas partes del circuito está resultando sumamente difícil.

En los últimos años se han desarrollado varias alternativas a la técnica de la fotolitografía. Los investigadores de la Universidad de Princeton han diseñado otra: LADI (por las siglas en inglés de *Laser-Assisted Direct Imprint*), que podría llevar al desarrollo de una impresión más rápida y barata de los circuitos en el *microchip*. La técnica, descrita recientemente en la revista *Nature*, utiliza una máscara o molde de impresión hecho de cuarzo (mineral de silicio) que contiene los componentes resaltados que se desean en el *chip*. El molde permite la impresión correcta de los átomos de silicio por medio del paso del rayo láser, el cual funde temporalmente la forma deseada sobre la superficie del polímero soporte. Luego se retira el molde y la fina y sofisticada estructura del circuito queda impresa con gran precisión a escalas que se reducen a los 10 nanómetros por lado y con escasos segundos de elaboración.

La técnica LADI evita muchos de los pasos necesarios en la elaboración convencional de los *chips* y no requiere del uso de reactivos tóxicos. No obstante, aún tiene algunas desventajas. Por ejemplo, no se ha demostrado que se puedan imprimir capas múltiples sobre el *chip*, pero incluso así la idea ha sido muy bien recibida tanto en la comunidad científica como en la tecnológica, al grado que otros investigadores están previendo que la fotolitografía será pronto una técnica obsoleta, rebasada por las enormes ventajas en costo, tiempo y protección ambiental que ofrecerá LADI una vez se refine y se escale a nivel industrial.

### III. Actividades

1. Glosario  
Solicitar a los alumnos que investiguen los siguientes términos o conceptos, así como su relación con el artículo, la guía o sus aplicaciones tecnológicas:
  - algoritmo
  - mecánica cuántica
  - láser
  - fotograbado
  - velocidad de la luz
  - circuito eléctrico
  - fotolitografía
  - velocidad del sonido
  - microchip*
  - cuarzo
  - capacitancia
  - zafiro
  - resistencia eléctrica
  - electrodeposición
  - polímeros
2. Solicitar a los alumnos que realicen una investigación sobre materiales semiconductores y el papel del silicio en la industria de los microcircuitos electrónicos. ¿Qué otros elementos químicos poseen propiedades similares?, ¿por qué? ¿Dónde se ubican en la tabla periódica?, ¿qué relación hay entre ellos?
3. En el laboratorio de física puede hacerse una "disección" de los distintos microcomponentes de una computadora, observarlos e identificar algunas de las partes mencionadas tanto en el artículo como en la guía.

### IV. Bibliografía

Página de internet de la revista *Scientific American*, ([www.sciam.com](http://www.sciam.com)) secciones "Ask the Expert" y "Techbiz".

Esperamos sus comentarios y sugerencias, que pueden hacer con atención a: Rosa María Catalá, al teléfono 56 22 72 97, fax 54 24 01 38, correo electrónico [comoves@universum.unam.mx](mailto:comoves@universum.unam.mx)

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.



(No. 48, p. 22)

#### Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

#### I. Relación con los temarios del bachillerato UNAM

Esta guía puede utilizarse por maestros de física y química interesados en que los alumnos de sus cursos conozcan diversos productos de la tecnología actual, en particular aquellos que facilitan la vida de las personas.

#### II. Más información

El mundo de las computadoras es sin duda uno de los entornos tecnológicos que cambian con mayor velocidad. Cada seis meses nuevos modelos inundan el mercado y la maravilla que uno compró el año pasado se ha vuelto obsoleta, lenta e inadecuada para una serie de nuevas exigencias que van desde el sistema reproductor de videos DVD, búsquedas y servicios de Internet, hasta los juegos y programas de lo más variado y sofisticado. El que

esto sea o no razonable no parece importar mucho en los países industrializados, en los cuales la carrera por el desarrollo de nuevos equipos es desenfadada. En el artículo quedan muy claros los conceptos tratados por el autor, por lo que en esta ocasión daremos un paseo por lo que los científicos y técnicos alrededor del mundo están anunciando como posibles avances que se verán en las nuevas generaciones de computadoras.

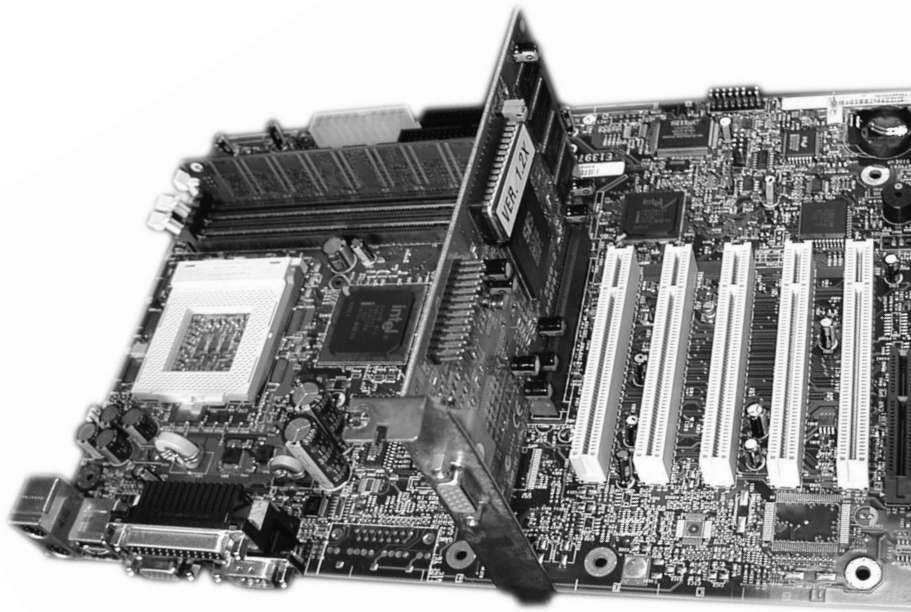
#### Computadoras cada vez más rápidas La visión de los investigadores de IBM en el Thomas J. Watson Research Center

A pesar de que pareciera que nada va a frenar la velocidad a la que pueden trabajar las computadoras, existen de hecho las restricciones físicas asociadas a los electrones que se mueven a través de la materia. Los investigadores de este centro consideran, sin embargo, que la velocidad a la que trabajan las computadoras no depende tanto de la construcción de los equipos (*hardware*) como de la eficiencia de los algoritmos por medio de los cuales se llevan a cabo los cómputos. Un algoritmo muy eficiente puede realizar cálculos de una manera mucho más veloz que un algoritmo ineficiente, incluso si no hay ningún cambio en el *hardware* del equipo. Así que los futuros avances en el desarrollo de algoritmos ofrecen una ruta posible para lograr que las computadoras sigan siendo cada vez más rápidas. ¿Qué tienen que ver esos algoritmos con las "restricciones físicas" del

movimiento de los electrones? Se ha encontrado que al tomar en cuenta algunas de las propiedades mecánico-cuánticas de los futuros dispositivos de cómputo, podrán desarrollarse nuevos tipos de algoritmos que se espera sean, mucho, pero mucho más eficientes para cierto tipo de cálculos, pero esta forma de atacar el problema todavía es lejana.

### La visión de los investigadores del Departamento de Ingeniería Mecánica del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT)

La velocidad de las computadoras está limitada, por un lado, por la rapidez a la que pueden mover información de un lugar a otro y también por la rapidez con la cual esa información puede ser procesada. Una computadora electrónica trabaja por el movimiento de electrones de un lado a otro, de manera que las restricciones físicas de un electrón que se mueve a través de la materia determinan la velocidad de la computadora. Pero es muy importante visualizar que la información puede moverse por la computadora más rápido que los electrones por sí mismos. Por ejemplo, consideremos la manguera de un jardín: después de abrir el grifo, ¿cuánto tiempo le toma al agua llegar al otro lado? Si la manguera está vacía, entonces la cantidad de tiempo es igual al largo de la manguera dividido por la velocidad a la cual fluye el



agua a través de la manguera. Si la manguera está llena, entonces la cantidad de tiempo que le toma al agua emerger por el otro extremo es el largo de la manguera dividido por la velocidad a la que se propaga el impulso dentro de la misma, que es una velocidad aproximadamente igual a la del sonido en el agua.

De forma equivalente, en los circuitos de la computadora los electrones viajan a aproximadamente la mitad de la velocidad de la luz en el vacío, ya que los *switches* (encendedores) transistorizados que llevan a cabo el procesamiento de la información son equivalentes a la manguera del ejemplo anterior. Cuando se encienden los *switches*, los electrones se mueven de un lado del transistor a otro. Los periodos de tiempo que aplican entonces a la computadora están limitados por la distancia máxima que las señales tienen que viajar dividida por la mitad de la velocidad de la luz y por el tamaño de los transistores dividido por la velocidad de los electrones a través de los átomos de silicio. En las computadoras actuales estos números (periodos) son del orden de trillonésimas de segundo, considerablemente más cortos que los que puede registrar cualquier reloj. En consecuencia, la computadora puede volverse más rápida cuanto más pequeña sea. La miniaturización de estos dispositivos es también una de las formas en que se logrará que aumente la eficiencia de cómputo.



En la práctica, los efectos electrónicos son mucho más decisivos que los efectos de la velocidad de la luz o la de los electrones a través de los circuitos. Los constructores de *hardware* saben que los cables y los transistores tienen capacitancia (C), la cual mide la capacidad de almacenar electrones, y resistencia (R), la cual mide la resistencia al flujo de esos electrones. El producto de la resistencia por la capacitancia (RC) da como resultado la escala de tiempo característica sobre la que fluye la carga dentro y fuera de un dispositivo. Cuando los componentes de una computadora se hacen más pequeños, R crece y C disminuye, de manera que se asegura que cada pieza de la computadora tenga tiempo para llevar a cabo lo que tiene que hacer de forma equivalente a como lo haría un equilibrista en un acto de alta precisión. Las tecnologías de hoy buscan que ese “acto de equilibrio” se realice sin contratiempos, de manera que todo el proceso se vuelva más rápido y eficiente.

### No más tiempos de espera al prender la máquina

El tiempo de espera que transcurre entre que se prende una computadora y el momento en que finalmente está lista para trabajar podría ser pronto cosa del pasado. Los investigadores del *Sandia National Laboratories* reportaron este año que han desarrollado una técnica para depositar una peli-

cula metálica ultradelgada sobre sustratos óxidos. Con membranas más delgadas, se requiere de menor corriente eléctrica para producir variaciones en las señales magnéticas que son la base del almacenamiento de la memoria de la computadora.

Los metales depositados sobre óxidos tienden a formar cúmulos rugosos en lugar de capas lisas y completamente planas. Pero estos investigadores han logrado depositar capas consecutivas de cobalto sobre un sustrato de zafiro (el zafiro es una de las formas minerales en que puede presentarse el óxido de aluminio) por medio del uso de moléculas hidroxílicas, mismas que producen una reacción química a nivel superficial que permite la deposición laminar del metal. “A nivel industrial, una solución posible sería la de simplemente exponer una delgada capa de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) bajo presión reducida de vapor de agua, antes de agregar la delgada capa de cobalto”. El equipo anota que el proceso (mismo que tiene la ventaja de poderse llevar a cabo a temperatura ambiente) debería ser aplicable no sólo con cobalto y zafiro, sino con una gran gama de metales y óxidos minerales.

Esta técnica llevará al desarrollo inmediato de nuevos acarreadores moleculares para la electrodeposición metálica, comentan también los autores del artículo (publicado en *Science*). Con ello se espera que a mediano plazo se pueda tener un especial impacto sobre el desarrollo de nuevas memorias conocidas como MRAM (memoria de acceso aleatorio de tipo magnético), en donde la información se almacena en capas alternadas (tipo emparedado o sándwich) de metales y óxidos metálicos que mantienen sus estados magnéticos independientemente del apagado o encendido del aparato. De ahí la promesa de que al prender el equipo, éste se activará de forma inmediata.

### Diseño de nuevos métodos más rápidos y económicos para fabricar microchips

La llamada “ley de Moore” establece que cada 18 meses las compañías que producen semiconductores pueden colocar el doble de cantidad de transistores en un *microchip*. Pero cada vez que la industria introduce (muy apretados) más transistores, el proceso se vuelve más difícil y costoso. Los retos son tan grandes que hasta la misma ley se está viendo amenazada debido a los presupuestos cada vez más