

Jack Kilby ideó en 1958 el primer circuito integrado y acaba de recibir el premio Nobel. Es un buen momento para repasar cómo es hoy un chip y hacia dónde avanza esta tecnología.

MÓNICA SALOMONE

Progreso en un término raro. Es abstracto, pero se alimenta de cosas concretas. Y además se mueve: puede ir lento o rápido. Por ejemplo, en este momento el progreso va muy rápido (en algunas partes del planeta) y se alimenta a base de chips. Incluso asumiendo que el progreso, por abstracto, es difícil de definir, la relación parece sencilla: cuanto más y mejores chips, más rápido va el progreso. Son los chips los que mueven el mundo. Mejor dicho, ideas convertidas en chips.

Todo lo anterior se piensa al entrar en la planta de Lucent Technologies en Tres Cantos, en Madrid. Y al escuchar a Emilio Martínez, su director general de operaciones, cuando afirma: "Es impresionante. En un hogar medio hay decenas de chips, sin contar con el ordenador personal". Martínez señala el teléfono móvil y su reloj digital, y enumera: lavadora, nevera, minicadena... "Es una invasión" Y no hay escapatoria. Especialmente aquí y ahora: estamos en el único gran nido de chips que hay en España, y vamos a ver cómo nacen. En la imaginación se repiten escenas de la película *Alien*, pero la realidad es más aburrida: no sólo los chips "bebé" son inofensivos, sino que habrá que mirarlos tras el cristal de la incubadora.

Sí se pueden ver y tocar, en cambio, unos cuantos chips que Martínez muestra como introducción a la visita. Primero saca una palanquita cuadrada de plástico negro, tamaño sello, con patitas de metal en los laterales: sí, es un chip, o lo que se entiende por un chip. Pero no exactamente. "Esto es sobre todo plástico. El chip en realidad está dentro y es mucho más pequeño", explica el ingeniero de Lucent. Entonces muestra un delgado disco plateado de unos 15 centímetros de diámetro. En una de sus caras hay grabados 500 cuadraditos del tamaño de una uña del dedo meñique, y cada uno de ellos tiene dibujadas, a su vez, un sinfín de más líneas y cuadraditos, parece el plano de una ciudad visto desde muy arriba. "Estos son los chips. Cada uno de los cuadraditos. Luego se cortan de la oblea (el disco plateado) y se encapsulan en plástico para protegerlos".

Las líneas y cuadraditos de cada "ciudad" chip son en realidad transistores —millones de ellos—, zonas de almacenaje de memoria y otros componentes; todo conectado y colocado según el detallado diseño de un arquitecto. El mapa del chip —y por supuesto, su potencia— será lo que determine su función en la vida: desde vencer a un gran maestro humano de ajedrez hasta convertir un insulso pedazo de plástico en teléfono móvil.

De la planta española de Lucent, abierta hace 16 años, salen cada semana más de dos millones de chips de unos quince tipos distintos. Salen aún montados en la oblea; se cortan y encapsulan en países donde la mano de obra es menos especializada y más barata. Este proceso del "corte" explica varias cosas. Una es el nombre de los chips, que significa en inglés pedacito o

lasca extraída de una pieza mayor; otra, la gran paradoja del negocio informático: que cuanto mejores son los chips, más baratos salen —en general—. El eslogan ideal, mejores y más baratos, pero esta vez de verdad. El truco está en que "mejor", aquí, implica también "más pequeño", "y cuanto más pequeños son los chips, más caben en una oblea, con lo que la producción se abarata", explica Martínez

En el vestíbulo del nido

De camino a la planta de producción en sí, alguien desmitifica: por avanzadas que sean, estas instalaciones pasarían inadvertidas en Silicon Valley (Palo Alto, California), el mítico valle del silicio. Tres Cantos es sólo una minúscula sucursal de ese París de los chips, pero da para impresionar. Sobre todo si se recuerda que hace tres décadas los microprocesadores no se habían inventado, y que el transistor —creado justo en los Laboratorios Bell, la división de investigación y desarrollo de Lucent apenas ha cumplido 50 años.

Llegamos a la antesala de la planta. De la puerta, normalmente infranqueable para los extraños, entran y salen técnicos con un mono verde, blanco o azul. Un cartel prohíbe los tacones y las sandalias, pero en cambio invita a los mocasines y zuecos con suela de goma.

En el suelo, un plástico azul pegajoso. Son los primeros indicios del estricto rito que debe cumplirse antes de entrar en la planta: además de *baby* y de los pantalones, hay que enfundarse las pantuflas a juego —de ahí que se prohíban elementos que puedan romperlas— y el gorro, que se pone primero para evitar inadvertidos toques de caspa; también hay gafas y mascarilla, y no se admite el maquillaje —cuyos efectos serán difíciles de apreciar.

¿A qué tanta norma? Aquí todo tiene su porqué (incluidos los colores del uniforme: con él puesto es difícil reconocerse, así que los de mantenimiento van de azul, los operadores de blanco... Pero el porqué número uno, la madre de todos los porqués, es que los chips sólo pueden nacer sanos en una sala limpia. Limpia. Aquí, significa que no debe haber más de una partícula por cada metro cúbico de aire, lo que equivale a un ambiente 9.999 veces más limpio que en un quirófano. El uniforme, el rito... son algunas armas de esta guerra contra la partícula. El arsenal incluye además un sofisticado sistema de filtrado del aire de la sala y una especie de túnel de viento a la entrada, que *ducha* con aire a los trabajadores cuando entran, para eliminar partículas flotantes. Una de las principales diferencias entre la vida a un lado y otro de la puerta infranqueable es que dentro, lo muy pequeño importa. Y por muy pequeño se entiende aquí el mundo de dimensiones en torno a la milésima de milímetro, es decir, una micra. Todo lo que hacen las 150 personas que trabajan al mismo tiempo en la sala, en tres turnos de ocho horas, 24 horas al día, 363 días al año, está pensado para que ocurran determinados cambios muy precisos en la materia a esas escalas. Basta una sola mota invisible de polvo, de las que hay trillones en el mundo exterior, para estropear el trabajo de varias semanas. Porque las calles de las "ciudades" chip no tienen más que 0,30 micras de ancho y una mota en ese mundo de Lilliput es como el meteorito de *Deep Impact* sobre Manhattan.

Lo que pasa dentro

Nosotros somos extraños, así que no entramos en el nido de chips sino que miramos por las ventanas. Dentro hay 21 grados de temperatura. La presión es ligeramente mayor que en el exterior —siempre para echar a las perniciosas partículas— y el suelo y toda superficie horizontal es de rejilla, para que el aire fluya verticalmente de arriba abajo sin remolinos; en el camino de vuelta, del suelo al techo será filtrado antes de volver a entrar.

Primera lección: los cambios en la materia son a escalas microscópicas, pero los realizan máquinas grandes. Se ven técnicos, ya vestidos para la ocasión, que transportan cestillos de 25 obleas; las cogen, leen sus códigos, consultan en una pantalla y meten los cestillos en aberturas en la pared parecidas a la puerta de un horno. De otras aberturas sacan otros cestillos y también leen sus códigos, miran las pantallas... Por otra ventana se ve lo que hay tras las aberturas en la pared: complejos cables y cacharrería. Lo que pasa en la sala se puede narrar desde dos puntos de vista. La descripción macroscópica es sencilla: lo que los técnicos están haciendo se parece a cocinar pizzas, por usar una comparación acuñada por Davis Patterson, profesor en la Universidad de California en Berkely. "Desde la creación del primer microprocesador, el Intel 4.004 de 1971, el método para producir circuitos integrados en masa se parece mucho a preparar una pizza. La masa, en este caso la oblea, empieza siempre delgada y redonda. Luego se le añaden ciertos productos químicos y se mete el horno. El calor transforma los componentes químicos en transistores, conductores y aislantes", dice Patterson. "En realidad, como puede suponerse el proceso es más delicado que hacer una pizza: bastan las vibraciones producidas por un camión cercano para desplazar ligerísimamente los ingredientes y arruinar el trabajo. Pero si todo va bien, la pizza resultante se divide en porciones individuales, llamadas chips, y se sirve a los clientes".

Ahora bien, si el narrador pudiera viajar al mundo de las dimensiones de una micra, su relato sería distinto. Empezaría describiendo el mismo cristal sobre el que se elevará la microciudad, y que para Patterson es la base de la pizza. Es un cristal monocristalino, lo que significa que todos los átomos que lo componen están perfectamente ordenados y orientados igual (aunque son mucho menores que una micra). Es un cristal de silicio, un elemento con una propiedad clave: a veces deja pasar la corriente y a veces no. Todo el imperio informático se eleva sobre esa propiedad tan simple, cuyo poder reside en que puede traducirse en un lenguaje de *síes* y *noes* o, lo que es lo mismo, de *ceros* y *unos*. "Si", es que pasa corriente. "No", que no pasa corriente.

El dispositivo que aprovecha esa propiedad del silicio es el transistor, que se convierte así en un mero interruptor de corriente eléctrica. En el fondo un chip son millones de interruptores conectados, que se abrirán o cerrarán de acuerdo a las órdenes de un programa. Chip y programa se entienden gracias a un lenguaje de *ceros* y *unos*, los "sies" y "noes" al paso de la corriente.

El programa acaba ejerciendo de gran guardia de tráfico por las autopistas de la microciudad, por las que pasarán a velocidad de vértigo miles de millones

de electrones —si recorren varios centímetros de distancia en una millonésima de segundo, no da tiempo de pensar lo que tardan en cruzar un transistor actual. Ahora bien, ¿cómo convertir la placa de silicio en transistores?. Eso es lo segundo que describiría el visitante de la microscópica ciudad chip.

Construyendo la microciudad

El requisito para que el silicio deje pasar la corriente es que su perfecta estructura cristalina esté *contaminada* con otro elemento, esto es, que deje de ser tan perfecta. El *contaminante* puede ser fósforo, para que el silicio conduzca carga negativa, o boro, para que conduzca carga positiva.

Contaminando partes del silicio con uno u otro elemento se construyen los millones de transistores microscópicos. Luego se hacen las conexiones, según el trazado previo de la *ciudad* —las mencionadas calles —, y se tapa con un aislante. Emilio Martínez lo explica: "El primer paso es definir en la oblea de silicio las zonas en las que estarán los transistores y las zonas de memoria. Lo que separa unas áreas de otras es el óxido de silicio. Después se construyen los transistores en sí, dopando el silicio, y a continuación se interconectan con *cables* de aluminio. Se puede hacer hasta tres niveles de conexiones.

Finalmente, la oblea se cubre con un aislante, nitruro de silicio, y ya puede salir de la sala limpia". Este proceso es lo que Patterson compara con poner los ingredientes a la pizza —varios *pisos* de ingredientes, en realidad— y cocinarla. El primer paso, hacer crecer la capa de óxido de silicio sobre la oblea, ya exige meter la "masa" en un horno a alta temperatura. Habrá que repetir la operación varias veces. Luego el proceso de dibujar sobre la oblea las partes que deberán ser dopadas o no, y también las conexiones de aluminio, se basa en varios trucos. Uno es el uso de *máscaras* que cubren unas zonas de la oblea y exponen otras. Otro pilar de esta tecnología es la fotorresina, cuyas propiedades cambian cuando se expone a la luz ultravioleta; haciendo, por ejemplo, que pueda ser eliminada con un disolvente químico. El proceso sería el siguiente: se coloca una máscara sobre una capa de fotorresina, después se ilumina y, a continuación, se aplica un disolvente, que sólo atacará al área de la fotorresina que ha quedado fuera de la máscara, expuesta. Es una manera de ir *dibujando* con luz sobre las distintas capas de materiales, según el patrón que definen las máscaras. Este proceso se llama "fotolitografía"

Cada oblea pasa una media de cinco semanas en la planta, y requiere una veintena de máscaras distintas. Cada *cesta* de obleas tiene un número de lote, y un ordenador central controla en qué momento está cada una de ellas. Aún así, hay errores. Exactamente, un 2% de chips no pasa el control de calidad. Se les marca con un puntito en la oblea, y el encapsulador ya sabe que los tiene que tirar. No es una mala tasa. "La media está en un 5% de errores", dice orgulloso Emilio Martínez.

EL FUTURO DEL SILICIO

CONSEGUIR CHIPS CADA VEZ MÁS PEQUEÑOS Y MÁS POTENTES OBLIGA A LLEVAR AL LÍMITE LAS LEYES FÍSICAS

Los chips de silicio tienen los días contados, o al menos eso es lo que se anuncia desde el mismo día de su nacimiento. Uno de sus *padres*, Gordon Moore, cofundador de Intel, predijo que más o menos cada dos años se duplicaría el número de transistores en los chips; sus palabras, por ciertas, han acabado convertidas en la famosa Ley de Moore: el primer microprocesador, el Intel 4.004, tenía en 1971 unos 2.200 transistores, y ahora IBM ya ha presentado su *superchip* Power 4, con 170 millones de transistores. Hasta aquí, todo bien. Pero Moore y sus contemporáneos también divisaron el final de la alocada carrera de los chips. La muerte del silicio, dijeron, llegaría cuando las técnicas de miniaturización —necesarias para embutir transistores cada vez más diminutos en las ya diminutas plaquitas —tropezaran con las mismísimas fronteras de la física. ¿Para cuándo ese momento?. Curiosamente el silicio está dando de sí más de lo previsto. En 1996, el propio Moore ponía el muro a su ley hacia el año 2008; el año pasado ya lo trasladaba al 2020. La tecnología está consiguiendo burlar a la física..., pero sólo de momento.

Las amenazas que pesan sobre el silicio son de dos tipos: físicas y económicas. Los expertos no se deciden sobre cual es más difícil de batir, sobre todo por la aparente perversidad del problema: cuanto más se avanza en un aspecto —por ejemplo, la solución a los límites físicos—, más se desequilibra el otro —más cara se vuelve la tecnología de producción—. Moore lo explicaba en el diario USA *Today* el año pasado: la primera fábrica de Intel en 1981 costó menos de tres millones de dólares; algunas de las actuales están valoradas en tres mil millones. Y lo mismo vale para costes de personal: "El primer chip lo diseñaron 10 personas; hoy los diseñan equipos de 500", decía Moore. A muchos les cuesta imaginar plantas mucho más costosas y a la vez rentables.

Los retos físicos

El enunciado de los problemas físicos es perfecto para enganchar a todo amante de un buen reto. Se trata de luchar contra la propia longitud de onda de la luz; contra el hecho de que de que los electrones se *atasquen* cuando deben correr por *cables* cada vez más estrechos; o contra la tendencia que tienen los átomos de no quedarse quietecitos en su sitio.

La longitud de onda de la luz, en términos muy simples, viene a ser el ancho de un haz de luz de determinada energía; a medida que aumenta la energía del haz, éste se hace más estrecho. En la fabricación de chips, este parámetro es crucial, por que los componentes del microprocesador se construyen *dibujando* con luz cuanto más fino es el haz, más pequeños los componentes. El primer chip de Intel tenía conexiones de 10 micras — 10 milésimas de milímetro—, y sus fabricantes creían muy difícil llegar a dimensiones de una sola micra. Pero la última generación de chips tiene

componentes de 0,18 micras, y ya han empezado a adaptarse las plantas de producción de 0,10 micras.

La hazaña se ha logrado usando un haz de luz más energético y, por tanto, más fino. De luz visible se ha pasado a la luz ultravioleta; las 0,13 micras pueden alcanzarse empleando láseres, una tecnología que probablemente podrá dar de sí hasta las 0,07 micras. Para reducir aún más se ensaya el salto a los rayos X —aún más energéticos—, que tienen el problema de la transparencia de las máscaras (hace falta encontrar un material que sea opaco a los penetrantes rayos X).

IBM y Lucent exploran además (independientemente) otra estrategia, basada en usar un *píncel* de electrones para grabar en el silicio (en vez de la luz.) Un haz de electrones puede ser bastante más fino que uno de luz, con lo que pueden grabarse detalles más pequeños; el inconveniente es que los electrones no graban el mapa del *chip* en un solo fogonazo luminoso, sino que deben dibujarlo poco a poco, línea a línea; equivale a copiar a mano una carta en vez de fotocopiarla. IBM, que experimenta conjuntamente con Nikon en el proyecto de haz de luz de electrones llamado PREVAIL, anunció en febrero de este año que había logrado solucionar este problema y que la tecnología podría estar lista para la producción masiva ya en el 2005. Expertos como Ricardo García, investigador del Centro Nacional de Microelectrónica, en Tres Cantos, creen no obstante que "todas estas tecnologías implican cambios importantes, y habrá que esperar al menos una década para ver si son viables científica y económicamente.

Efectos colaterales

Sin embargo, sortear el problema de la anchura del haz de luz no significa tener vía libre a la miniaturización infinita. Sucede que a medida que los componentes del chip se hacen más pequeños aparecen indeseados efectos colaterales. Por ejemplo, que las conexiones son tan finas que los electrones tienen problemas para circular rápidamente, o que se producen interferencias entre los apretujados circuitos. La industria investiga nuevos materiales para burlar una vez más las predicciones pesimistas.

IBM logró hace tres años un avance importante en lo referente a agilizar el tráfico electrónico: en vez de fabricar las conexiones de aluminio, lo hizo con cobre, un conductor mucho mejor que, no había podido emplearse hasta entonces porque interaccionaba con el silicio. IBM encontró la manera de separar ambos materiales, y el resultado ha sido que los chips más potentes ya utilizan cableado de cobre.

Los investigadores de esta empresa dicen haber solucionado también el problema de las interferencias, que aparecen porque cada uno de los millones de cables que forman las conexiones hacen las veces de antena y genera ruido. "Es lo mismo que los cruces de líneas en las conversaciones telefónicas". , Explica IBM en un comunicado; la solución es sellar muy bien las conexiones, algo que la compañía parece haber conseguido gracias a un

nuevo material (llamado "lowK dielectric"). Los primeros microprocesadores que incorporan esta técnica llegarán pronto al mercado.

También se busca la forma de hacer cada vez más finos los estratos de materiales con que se construye el chip. Por ejemplo, la capa de dióxido de silicio que hace de aislante de los transistores: cuanto más delgada sea, menos voltaje necesitará el transistor para funcionar (y menos espacio ocupará). La capa que se emplea actualmente tiene un grosor de unos 25 átomos, pero investigadores de Lucent han demostrado que sería posible reducirla a 5 átomos. Este logro permitiría alargar la vida del silicio unos cinco años. Sin embargo con una capa más fina de dióxido de silicio, de sólo cuatro átomos, los transistores ya no podrían funcionar bien; haría falta un material distinto para saltarse también este límite.

Otro problema más es el del calentamiento de los chips: a medida que aumenta el número de transistores en el chip y la frecuencia a la que trabajan, también crece la potencia que necesitan y el calor que deben disipar —también por esto es importante que la capa aislante sea delgada y el transistor necesite poco voltaje—. El reto es, por tanto, mantener la capacidad de los chips reduciendo su gasto energético. Una manera de hacerlo podría ser diseñar la arquitectura del chip teniendo en cuenta el consumo energético de las operaciones que deberán realizarse; esto permitiría distribuir la energía no uniformemente, sino según el grado de actividad de las distintas zonas. Otras soluciones se basan en hacer que el sistema operativo y los compiladores controlen el gasto energético del *hardware*.

Y Mateo Valero, catedrático de Arquitectura de Computadores de la Universidad Politécnica de Cataluña, añade un último obstáculo a la lista: la distribución del reloj. "El reloj causa otros problemas, ya que al hacerse más rápido no se puede mandar una señal de una punta a otra del chip en un ciclo. Esto hace que se tenga que pensar en distribuir el reloj por zonas cercanas, en diseñar circuitos asíncronos, o poner trozos de chip que sólo sirven para mandar el reloj de una parte a otra, tal como ha sido necesario hacer en el Pentium-4".

El tope definitivo

Con todo, los fabricantes parecen haber identificado ya —una vez más— el momento en el que tendrán que rendirse en su lucha contra la física. Cada cierto tiempo, la Asociación de Industrias de Semiconductores (SIA) traza un plan a largo plazo para que los que intervienen en el proceso de fabricación de chips puedan ajustar su tecnología simultáneamente. Valero explica que, según el último plan, "hacia el año 2014 se podrá grabar detalles de 0,035 micras, los chips tendrán 3.000 millones de transistores y los procesadores tendrán unos relojes superiores a los 10 gigahercios, con lo que dichos procesadores serán mucho más rápidos que los actuales".

Pero parece el tope definitivo. Por debajo de esas dimensiones se estaría rozando el extraño mundo de la mecánica cuántica, donde los átomos se entretienen gastando bromas a investigadores incapaces de prever su

comportamiento. Un universo con reglas demasiado raras para los chips de silicio. No obstante, previsiones optimistas tampoco faltan. David Patterson, de la Universidad de California en Berkeley, aventura que los computadores domésticos del 2025 tendrán tanta potencia como la que suman hoy todos los cerebros electrónicos del Valle del Silicio. ¿Para qué tanta?. Que la imaginación no dé ahora para buscar aplicaciones no significan que no vayan a encontrarse. Al fin y al cabo, ¿no fue el mismísimo Moore quien rechazó en su día la idea de los computadores personales porque pensó que sólo servirían para almacenar recetas?. "No me imaginé a mi esposa sentada en la cocina tecleando números en un ordenador", confiesa.

Y DESPUÉS DEL SILICIO, ¿ QUÉ?

LOS ORDENADORES CUÁNTICOS Y LOS MOLECULARES SON LOS QUE DESPIERTAN, POR EL MOMENTO, LAS MAYORES EXPECTATIVAS

Sebastián Serrano

Aunque a Jack Kilbi, el investigador de Texas Instruments que tuvo la idea de crear el primer circuito integrado, han tardado 42 años en concederle el Premio Nobel de Física, el chip es el invento que ha experimentado una evolución más rápida en la historia de la humanidad. El drama que vive ahora la industria es que el ritmo frenético de crecimiento de la tecnología del silicio sólo se puede sostener otros 15 o 20 años, por lo que se ha lanzado en busca de nuevos materiales y nuevas tecnologías.

Durante años se han explorado las posibilidades de otros semiconductores y hubo un tiempo en que se pusieron muchas esperanzas en el arseniuro de galio. También tras el desarrollo de la tecnología de láseres y el éxito de la fibra óptica, que permite transmitir la información mediante fotones (unas partículas sin masa) en lugar de electrones, los investigadores han volcado muchos esfuerzos en buscar materiales adecuados para la fabricación de chips en los que la información la llevan haces de luz. Pero de entre todas las líneas de investigación en marcha, son dos las que están llamando más la atención: la computación molecular y la cuántica.

El ordenador molecular

La computación molecular pretende una reducción drástica del tamaño del chip, mediante el diseño de moléculas que sean capaces de efectuar las funciones lógicas de los componentes del circuito. Si el tamaño de un transistor actual es 50 veces menor que el grosor de un cabello humano, el de los componentes del ordenador molecular será 100 veces más pequeño aún. Si el transistor actual fuera toda esta página, el molecular sería el punto con que acaba esta frase.

Staley Williams, director del laboratorio de Helwelett-Pakard que investiga en esta área, subrayó recientemente en España que esta nueva tecnología, de

tener éxito, no sólo mantendrá el crecimiento de la capacidad de cómputo, sino que abaratará drásticamente los costes de producción porque se basará en procesos químicos. Su laboratorio presentó el año pasado una molécula donde los electrones podían moverse de un extremo a otro de manera controlada: era un conmutador. Este verano ha presentado otra donde, además de moverse, pueden recuperar de nuevo la posición inicial: es ya un elemento de memoria. Para conectar unos elementos con otros pretende utilizar una especie de finas mallas donde las moléculas queden atrapadas. Y ante la evidencia de que los procesos químicos generarán errores, pretende diseñar arquitecturas tolerantes a fallos que los sorteen.

Mark Reed, de la Universidad de Yale, cuyo grupo consiguió un elemento molecular de memoria meses antes que el de Stanley, subraya en un reciente artículo de *Scientific American* que el paso siguiente es diseñar moléculas que actúen como transistores, es decir, que además de dejar circular la corriente, la controlen. "Aunque los primeros son alentadores, el camino que queda por delante es complejísimo", subraya.

El ordenador cuántico

El ordenador cuántico es una historia totalmente diferente. Con él no se pretende en absoluto imitar a los chips actuales, sino aprovechar las sorprendentes propiedades cuánticas del mundo subatómico, para resolver problemas insolubles con todos los ordenadores actuales trabajando a la vez durante toda la vida del universo, como por ejemplo, factorizar números extremadamente largos.

La base de este ordenador y primer problema a resolver es diseñar el bit cuántico o qubit. Se trata de lograrlo aprovechando una propiedad de las partículas que es el *spin* o giro sobre sí mismas. La suma de *spines*, la base de los fenómenos magnéticos, es medible mediante técnicas ya maduras. Una esfera, en el mundo que vemos, puede girar hacia la izquierda o hacia la derecha, pero nunca en ambos sentidos a la vez. Pues bien, en el nivel donde reina la mecánica cuántica sí sucede que el giro pueda ser en ambos sentidos al mismo tiempo, un fenómeno que se denomina coherencia cuántica.

¿Qué ventajas puede aportar algo tan extravagante? Enormes. Un bit cuántico o qubit no representa 1 o 0 como en los sistemas clásicos, sino 1 y 0 a la vez. Dos qubits representan todas las combinaciones de dos cifras de unos y ceros, que son cuatro. Las combinaciones de tres qubits son ocho; las de 10 qubits, 1.024; las de 20 qubits, más de un millón; las de 30 qubits, más de un billón, etc. Y ya hay algoritmos que deberán ser capaces de utilizar esa ventaja para factorizar números inmensos o hacer búsquedas masivas en la *web* cuando el ordenador exista.

La aproximación más conocida al problema es la de Isaac Chuang, de IBM, que en agosto anunció la existencia de un sistema de cinco qubits que había sido capaz de hallar en periodo de una función en un solo paso, mientras que un ordenador convencional requiere repetidos ciclos. Chuang forma los qubits con grupos de moléculas en suspensión, cuyos cambios son observados con

sistemas de resonancia magnética nuclear, una tecnología muy conocida en los hospitales.

Un grupo español encabezado por Javier Tejada, de la Universidad de Barcelona, está haciendo una aproximación algo distinta al problema. Sobre la base de haber sido pioneros en la detección de fenómenos cuánticos en partículas de tamaño muy superior al nivel subatómico, y de haber detectado situaciones de coherencia cuántica en un aglomerado molecular (*cluster*) de hierro, están diseñando un qubit magnético, dentro de un programa europeo de investigación. La ventaja de este tipo de materiales es que resulta más sencillo llegar a formar un qubit con una sola molécula (y no con grupos), un paso importante para que el estado de coherencia cuántica se prolongue y permita hacer los cálculos.

Eugene Chudnovsky, un físico de la Universidad de Nueva York que aporta la base teórica al grupo experimental español, lanza una ducha fría sobre el entusiasmo que rodea a los proyectos de ordenador cuántico y opina que hay un 50 % de probabilidades de que no llegue a existir. En su opinión, construirlo requerirá una suma de esfuerzos y una inversión económica similar a la del proyecto Manhattan, que permitió la construcción de la primera bomba atómica.

Publicado en **CIBERPAIS número 5, noviembre 2000**