

COMPUTACION MOLECULAR Y OPTICA

JUAN A. ALVAREZ, JOSE F. BASTIDAS,
SANDRA VICTORIA HURTADO, GLORIA P. PONCE

Alumnos del curso de Investigación de VIII semestre de Ingeniería de Sistemas del ICESI.

INTRODUCCION

Los progresos de la informática están íntimamente ligados a los desarrollos de la arquitectura de los procesadores que, a su vez, son posibles gracias a los progresos logrados en otras ramas de la ciencia.

La arquitectura de los procesadores surgió de la conjunción de la electrónica y la noción de "máquina secuencial de programa registrado" formulada por el matemático John von Newman. Este modelo está constituido por dos partes básicas: una memoria central y un procesador, que a su vez posee dos partes: la unidad de procesamiento y la unidad de control.

Con el transcurso de los años, el progreso en las tecnologías de hardware y del software permite diseñar arquitecturas de procesadores más innovadoras que se van apartando progresivamente del modelo de Von Newman; por ejemplo, el tratamiento de los datos en arquitecturas de computadores en paralelo.

En los últimos 35 años, los ingenieros han incrementado el poder de la

computación construyendo pequeños chips de silicón a través de los cuales los electrones pueden correr en poco tiempo. Pero hay un límite de hasta donde los chips pueden contraerse y aun contener vías para los electrones en movimiento.

Por otra parte, el paso o la tendencia hacia la miniaturización encuentra un gran obstáculo: cada factor de dos en la miniaturización incrementa los costos de fabricación de un chip en un factor de cinco, entonces el desarrollo está más frenado por el aspecto económico que por el físico.

Además, se necesitan sistemas de computación cada vez más rápidos y más capaces para poder avanzar en diversas áreas de la computación, como la Inteligencia Artificial.

Todo esto nos indica que los cambios en la arquitectura de los computadores serán radicales, y una demostración de ello son las actuales investigaciones y desarrollos en los campos de la *computación óptica y molecular*.

En el trabajo se incluirán algunos aspectos acerca de la historia de los dos

campos a tratar, al igual que su funcionamiento básico y algunas áreas de posible aplicación.

OBJETIVOS

Conocer cuál será el desarrollo de la computación en un futuro no lejano y tener una visión general acerca de tan fascinantes áreas.

Con esta investigación se pretende recopilar, organizar y presentar de la mejor manera posible las nuevas áreas tecnológicas en las cuales se investiga.

Comprender a cabalidad la base sobre la cual se fundamenta la computación óptica y molecular.

Mostrar algunas ventajas de la computación óptica y molecular sobre la computación basada en semiconductores.

EL PROCESADOR OPTICO

Un microchip convencional es una colección de miles de diminutos transistores, cada uno de los cuales opera similar a un switch on-off. Cuando un transistor está prendido, fluye corriente a través de él. Cuando está apagado, no hay corriente. Millones de bits prendidos y apagados en una configuración binaria representan todos los datos en la memoria del computador.

Un procesador funciona esencialmente con memorias que almacenan los datos y con compuertas lógicas que conmutan señales eléctricas (representando los valores elementales 0 y 1). El tiempo de conmutación de estas compuertas es fundamental: el aumento de las posibilidades de un procesador pasa obligatoriamente por la disminución de los tiempos de tratamiento, intercambio de información y acceso a la memoria.

La miniaturización de los circuitos integrados ha tenido un papel clave en la evolución de los microprocesadores,

aumentando su velocidad de cálculo. Sin embargo, la mayor parte de los procesadores corrientes funcionan según el principio de la «máquina de Newman», que efectúa cada operación de un programa de manera secuencial (una después de otra).

Para aumentar las velocidades y la capacidad de tratamiento se ha debido cambiar de estrategia: fragmentando las tareas y construyendo máquinas capaces de tratar en paralelo varias series de instrucciones. Pero los procesadores paralelos no lo resuelven todo, pues intervienen aquí los efectos nocivos de los cables de conexión.

Para eliminar estas dificultades una solución radical consiste en sustituir la electrónica por la óptica, de forma que puedan suprimirse los cables y utilizar el medio de comunicación más rápido que existe: *la luz*.

Los fotones se desplazan a la velocidad de la luz y no interaccionan, es decir, pueden entrecruzarse en el vacío sin que esto suponga inconveniente alguno. Por consiguiente, la óptica se adapta perfectamente a las arquitecturas "masivamente paralelas" en las que cada transistor está conectado a centenares de otros transistores.

La superioridad de la óptica sobre la electrónica es indiscutible en el campo de las interconexiones, pero se está pensando en ir mucho más lejos y sustituir los electrones por fotones en todas las fases de cálculo; es el *procesador totalmente óptico*.

Para construir un ordenador totalmente óptico hay que encontrar un medio de tratar los números y almacenar información usando la luz: son las *compuertas lógicas ópticas* y los *biestables ópticos*. Estos dispositivos emplean materiales cuyas propiedades ópticas difieren radicalmente de las que presen-

tan los medios transparentes, como el vidrio, cuando son iluminados por una luz intensa. Su comportamiento es sensible a la intensidad luminosa que los atraviesa. Por ejemplo, algunos cristales llamados no lineales son opacos cuando están iluminados por una luz de débil intensidad y se hacen transparentes si la intensidad luminosa aumenta suficientemente. En otros casos la luz afecta el índice de refracción del material.

Sin embargo, los dos estados de los materiales sólo se presentan cuando la intensidad luminosa es muy alta. Por ello la óptica no lineal necesita recurrir a láseres que permiten dirigir y delimitar los haces luminosos con gran precisión.

Un dispositivo es biestable si permanece en el estado 0 ó 1 después del paso de la señal, y es una compuerta lógica si realiza el estado 0 ó 1 durante el paso de las señales. Bajo el control de un láser los medios pueden reaccionar como un conmutador y ponerse en un estado 1 (transparente) ó 0 (opaco).

Historia y funcionamiento

La biestabilidad óptica fue predicha en 1964 por A. Szöke en el Instituto Técnico de Massachusetts, pero no se pudo observar pues se utilizó una fuente luminosa muy débil.

En 1976, H. Gibbs, S. MacCall y T. Venkatesan en los Laboratorios Bell, demostraron la biestabilidad óptica utilizando un tubo con vapor de sodio colocado entre dos espejos que reflejaban aproximadamente el 90% de la luz. La biestabilidad óptica aparece si se ilumina desde el exterior con un rayo láser que pueda penetrar en el sistema y salir de él. Una vez que la luz ha penetrado en la cavidad, la onda luminosa realiza innumerables idas y venidas antes de disminuir a consecuencia de las pérdidas en cada reflexión (10%).

En el interior de la cavidad la onda resultante es la suma de todas las ondas parciales reflejadas.

Si las crestas de unas ondas se corresponden con los valles de otras, la amplitud total es muy pequeña y la interferencia se considera destructiva. Si, por el contrario, las crestas se sitúan en los mismos lugares la interferencia es constructiva y las ondas suman sus efectos.

En la salida tendremos:

Si la interferencia es destructiva, el haz transmitido es muy débil. La luz incidente es casi totalmente reflejada por la cavidad que, por lo tanto, es opaca.

Si la interferencia es constructiva, el haz sale con la misma intensidad del haz incidente, es decir, como si el sistema fuera transparente.

La interferencia es destructiva o constructiva dependiendo de que el número de arcos de la onda sea igual a un número entero o semientero de veces la longitud de la cavidad. Es suficiente entonces ajustar el número de arcos (longitud de onda) o la longitud de la cavidad, para obtener el efecto deseado. (Ver Figura 1).

En el experimento se utilizó vapor de sodio debido a que se comporta como un medio no lineal con la luz naranja: su índice de refracción varía con la intensidad y la luz que se propaga por él varía su longitud de onda de acuerdo con este índice. Por lo tanto, un interruptor de mando óptico se simulaba variando la intensidad de la luz naranja y haciendo pasar el sistema de un estado de transmisión débil (interferencia destructiva) a uno fuerte (interferencia constructiva).

Si se comienza con una transmisión débil y se aumenta la intensidad de la luz, la longitud de onda variará aunque la transmisión no variará mucho, mientras el punto de funcionamiento esté ale-

jado de los picos en la curva de Airy; pero si se acerca a los picos, la transmisión crece con rapidez y el sistema salta bruscamente de un estado de transmisión débil a uno fuerte. Lo mismo sucede (pero en el sentido inverso) si se disminuye la intensidad de la luz aplicada.

Este fenómeno se describe con una curva cerrada llamada *ciclo de histéresis*.

En toda la amplitud del círculo son posibles dos estados estables, de ahí la idea de biestabilidad (dos valores de intensidad transmitida para uno de intensidad incidente). Entre los dos estados el sistema "elige" en función de su historia anterior, lo que puede señalar una cierta memoria.

La amplitud de un ciclo de histéresis depende de la longitud de la cavidad, de la longitud de la onda de luz y del medio empleado. Esta amplitud puede ser nula, y en este caso la curva tendría una región crítica donde la intensidad de la luz puede salir muy amplificada; éste sería un transistor óptico (Ver Figura 2).

El inconveniente del biestable con un tubo de vapor de sodio era que se prestaba poco para las aplicaciones prácticas, donde se requieren dispositivos pequeños, baratos y que funcionen con intensidades débiles.

En la Universidad Hériot-Watt de Edimburgo, en 1978, se encontraron efectos no lineales en un material semiconductor sólido, el antimonio de indio, InSb. Este material es opaco a la luz visible, pero transparente a la radiación infrarroja, en la cual se produce biestabilidad óptica.

En 1979 se crea un biestable de algunos micrómetros de espesor, con un cristal de InSb y espejos pulidos. Tam-

bién se demostró que el arseniuro de galio, GaAs, otro semiconductor, podía servir para fabricar biestables.

La biestabilidad en los semiconductores se debe a que un rayo láser enviado a un cristal permite que pasen electrones de la banda de valencia a la banda de conducción cuando éstos absorben fotones de energía superior al "gap". Por tanto, un láser es capaz de modificar la distribución de electrones en el cristal, afectando su transparencia e índice de refracción.

En el proceso de conmutación (cambio de estado) de un semiconductor se tienen en cuenta dos tiempos:

- tiempo de apertura: Separa el estado opaco del transparente. Este tiempo es muy rápido si se envían fotones suficientes para modificar el índice de refracción (con láseres de 100 milivatios el tiempo de apertura es del orden del nanosegundo en InSb o GaAs).
- tiempo de cierre: Tiempo durante el cual el biestable vuelve al estado opaco una vez cortado el láser. Estos tiempos son más largos, alrededor de decenas –incluso un centenar– de nanosegundos.

En 1989, investigadores de Laboratorios Bell AT&T en Holmdel, New Jersey, desarrollaron un procesador de computador que no usa electrones sino rayos láser para transportar información.

En 1984, el físico David Miller, de Laboratorios Bell empezó a ensayar con reemplazar los transistores de silicón en un microchip con espejos infinitesimales. Mejor que bloquear o conducir corriente, los espejos podían absorber o reflejar luz. El código binario debería permanecer así mismo, pero la información sería transportada por fotones, no por electrones. El problema

fue diseñar un espejo que debería o reflejar o absorber luz en orden.

"Yo pensé acerca de la conmutación óptica por años, pero nunca supe a dónde ir con ella", dice Miller. "En 1984, nosotros descubrimos que si se pegan capas muy débiles de materiales semiconductores similares al arseniuro de galio con una carga eléctrica o con rayos láser para especificar energías, ellos se vuelven brevemente transparentes".

Miller se dio cuenta que él podría tomar ventaja de este fenómeno para diseñar una clase de ventana semiconductor que podría abrir o cerrar enfrente de un espejo microscópico. En este sistema él dedujo que explosiones de luz de un grupo de rayos láser deberían ser dirigidas en un arreglo de espejos cubiertos con una máscara de arseniuro de galio. Esos espejos blanqueados por los láser deberían llegar a ser reflectores, mientras que los otros deberían permanecer oscuros.

Un segundo grupo de rayos láser – con niveles de energía sintonizados para no afectar las máscaras– deberían entonces ser dirigidos a los espejos. Esas máscaras, que tendrían que llegar a ser transparentes, deberían permitir reflejar la luz; esos que no tenían que serlo deberían absorberla. El modelo de rayos reflejados y no reflejados emergiendo del chip debería representar datos sólo similares a la corriente on-off del chip tradicional.

Para 1987 Miller había inventado el transistor S-SEED, o el Symmetric Self-Electrooptic Effect Device. Esto tomó tres años antes de que pudiera ponerse en uso, pero en 1990 el físico óptico Michael Prise de Laboratorios Bell, fue capaz de combinar 128 S-SEEDs en un solo procesador, creando el primer computador óptico rudimentario.

Prise usó cuatro arreglos de 32 S-SEEDs, cada arreglo lo bastante peque-

ño para acomodar dentro una letra escrita O. El fijó un arreglo sobre cada esquina de una pieza de metal, la medida de una pequeña tabla de tarjeta, y cubrió el resto de metal con pantallas y lentes.

El sistema empieza con una serie de rayos láser disparados a través de algunos de estos lentes y pantallas, los cuales en un sentido programan los rayos tan bien que ellos vuelven las máscaras de arseniuro de galio seleccionadas en un vector S-SEED transparente. Cada arreglo es equipado con su propio rayo local. Después los láseres empiezan a cambiar los espejos a un arreglo S-SEED, el láser local –sintonizado para no cambiar el estado del arseniuro de galio– salta fuera de los espejos y del arreglo en un patrón particular.

Para los próximos arreglos esos rayos pasan a través de más lentes y pantallas, los cuales más adelante mejorarán el programa y modificarán los niveles de energía de los rayos. Cuando los rayos entren a los próximos arreglos S-SEED y golpeen en algunas de las máscaras de arseniuro de galio, este cambio en la energía le permitirá a ellos volver estas máscaras transparentes. El láser local para esos arreglos entonces refleja apagados esos espejos, existiendo el arreglo en estos propios modelos binarios. Esto es repetido a través de los siguientes arreglos.

"Esencialmente", dice Prise, "la salida de un arreglo de espejos llega a ser la entrada para el siguiente. Esto es sólo similar a cualquier otro computador. Nosotros sólo reemplazamos todos los alambres con luz".

Para estar seguro, el procesador de Prise es muy rudimentario, capaz de transportar hacia afuera simples tareas de cálculo pero no muchas más. Sin embargo, una vez los S-SEEDs, lentes y pantallas son miniaturizados, ellos

podrían ser puestos en uso, tal vez trabajando con componentes electrónicos tradicionales en los equipos de telecomunicaciones de Laboratorios Bell. Dice Prise: "Nosotros estamos probando hacer conexiones ópticas para los circuitos electrónicos y confiamos en esto".

Más adelante, bajando la línea, Prise cree que los S-SEEDS serán usados más y los componentes electrónicos menos. "Nosotros no nos alejamos de los componentes electrónicos completamente", dice. "Pero cada vez más, las conexiones electrónicas serán reemplazadas por conexiones ópticas. Todo esto conduce a concluir que realmente la tecnología no está parando".

Se han propuesto otros medios más rápidos de conmutación, especialmente una nueva categoría de estados excitados del semiconductor: los excitones. Un hueco de carga positiva y un electrón, de carga negativa, pueden interactuar como un protón y un protón y un electrón en el átomo, formando un excitón con niveles de energía definidos y con una amplitud débil.

Un excitón puede formarse por absorción de un fotón, requiriendo menos energía que para crear un electrón y un hueco independientes.

Si se envía a un semiconductor un rayo láser de frecuencia correspondiente a la energía de los excitones, éste sufre una absorción importante, ya que los excitones son muy sensibles a su entorno. Además, los tiempos de respuesta de los excitones pueden ser muy rápidos e inferiores al picosegundo.

Quedan todavía muchos obstáculos por superar antes de su puesta en práctica en un procesador. Uno de estos obstáculos es la gran potencia láser que exigen los biestables para conmutar: varios kilovatios por centímetro cuadrado.

Biestabilidad térmica

Otra forma de biestabilidad es la térmica, en la que intervienen efectos no lineales unidos al calentamiento del semiconductor.

La elevación de la temperatura desplaza las bandas de energía y modifica, por tanto, las propiedades ópticas del semiconductor. A causa del calentamiento, el límite inferior de la banda de conducción puede descender hasta el nivel de energía de los fotones; entonces éstos son absorbidos masivamente y el medio se hace bruscamente opaco. Este calentamiento modifica también el índice de refracción de ciertos semiconductores, y no necesita el empleo de una cavidad óptica.

Con láseres de modesta potencia se han observado tiempos de conmutación del orden de los nanosegundos.

Los biestables que funcionan con láseres poco caros, como los diodos láser (potencia menor al vatio), son relativamente lentos (entre un segundo y decenas de nanosegundos). Por el contrario, los biestables que conmutan muy rápidamente necesitan de láseres importantes que presentan el inconveniente de calentar el sistema (y ser más caros).

Esto demuestra que el criterio numérico para evaluar la calidad de una compuerta óptica es la *energía de conmutación*, que es el producto del tiempo de conmutación por la potencia necesaria para hacer conmutar al biestable.

Procesadores y memorias ópticas

Cuando el ciclo de histéresis es amplio sugiere la existencia de un efecto de memoria (Ver Figura 3).

Se envía al biestable un rayo láser continuo (láser de mantenimiento) de una intensidad comprendida entre los límites del ciclo de histéresis. Supongamos que el biestable está en estado

opaco (débil transmisión). Si se envía una señal luminosa suplementaria, de intensidad suficiente, el biestable pasa al estado de transmisión fuerte: ha puesto en memoria 1.

Si estando en el estado opaco se envía una señal débil, el biestable permanece en ese estado: ha puesto en memoria 0.

Para borrar la memoria se disminuye la intensidad del láser de mantenimiento por debajo del ciclo (así pasa al estado débil).

Para leer la información se mide la intensidad del láser de mantenimiento transmitido por el biestable. Para transmitir esta información a otra memoria es necesario amplificar o atenuar la intensidad del haz de salida, de manera que pueda hacer conmutar o no a otro biestable.

Las señales 1 y 0 deben representarse en lógica óptica mediante haces de intensidad bien definida (igual que los voltajes en electrónica).

Los transistores ópticos realizan funciones lógicas que están dadas por la intensidad del láser de mantenimiento que los ilumina.

Si se ilumina el sistema con un láser de intensidad menor al valor del salto en la curva del transistor, se tendrá una compuerta lógica AND, pues una sola señal en 1 no modifica la intensidad de salida; pero dos señales 1 hacen conmutar el transistor al estado de transmisión fuerte.

Una compuerta OR se logra con una intensidad del láser de mantenimiento bastante próxima al salto de la curva, y así cada una de las señales 1 puede hacer conmutar el transistor.

Para hacer una compuerta NOR se utiliza la luz reflejada en lugar de la luz transmitida. Cuando la transmisión es débil la reflexión es fuerte y viceversa,

pues la curva de la intensidad reflejada presenta una región de pendiente negativa.

Si se tiene una intensidad de mantenimiento por debajo del primer salto en la curva, una señal débil sufre una reflexión fuerte, y una señal fuerte (1) sufre una reflexión débil (0).

En cada caso, las señales de salida deben normalizarse a los valores de 0 y 1 establecidos. Se puede atenuar un haz luminoso con un filtro, y para amplificarlo se puede utilizar un transistor óptico (aprovechando su gran pendiente).

Estas compuertas no solamente funcionan de una manera sencilla, sino que ofrecen una gran flexibilidad. Se puede cambiar, por ejemplo, una compuerta AND en una OR variando la intensidad del haz de mantenimiento.

Arquitectura

La arquitectura de los ordenadores ópticos busca aprovechar las ventajas de la óptica como conexiones paralelas y cruzadas y la gran velocidad de transmisión.

Se pueden fabricar semiconductores en placas muy finas de una superficie relativamente grande (centímetros cuadrados). Dividiendo esta superficie en zonas minúsculas, o *pixels*, que actúan como conmutadores independientes, se consiguen redes bidimensionales de compuertas lógicas que funcionan en paralelo. Estas redes, a su vez, estarían controladas por redes de haces láser.

Cada pixel de la red ha de ser iluminado continuamente con un láser de mantenimiento que determina la función de la compuerta. Basta con modificar las intensidades de los láseres de mantenimiento para configurar un nuevo programa de la red de compuertas.

Se puede disponer de una serie de sistemas que hacen posible la creación

de una red de pequeños haces con un solo láser.

Puede pensarse en un conjunto de láminas de vidrio semirreflectantes que separan en dos el haz inicial y, sucesivamente en cuatro, ocho, etc. También puede pensarse en lentes de focos diversos que producen varios haces y los focalizan en múltiples puntos.

Esto puede ser reemplazado por un único elemento: el holograma. Es una especie de placa fotográfica, formada por un compuesto sensible a la luz, que registra sistemas muy diversos que le permiten simular láminas, lentes y otros elementos de óptica. Presentan ventajas como su pequeño tamaño y el hecho de que desperdician poca luz (cerca del 3%). Sin embargo, presentan un inconveniente: las operaciones que se pueden efectuar con la red de compuertas están fijadas en la placa fotosensible que constituye el holograma.

Para dar más flexibilidad a la programación se propuso (G. Rosen, en 1969) utilizar hologramas no permanentes: las funciones deseadas se inscriben con láseres en materiales fotorreactivos que luego pueden ser borrados.

Otra solución (P. Chavel, en 1987) consiste en hacer preceder el holograma de un conjunto de interruptores programables. A cada instrucción del programa, la red de compuertas selecciona los subhologramas necesarios para la ejecución de las operaciones.

Cálculos

El procesador óptico da toda su medida cuando los datos se presentan en forma de tabla de números, cuyos elementos pueden ser tratados en paralelo.

La situación más favorable es aquella en que los datos iniciales son de naturaleza óptica.

Si se trata, por ejemplo, de efectuar cálculos en diferentes puntos de un obje-

to parcialmente transparente, se ilumina con un láser fuerte y se proyectan imágenes en redes de compuertas programadas para pasar al estado transparente: el objeto queda codificado por datos binarios transportados por haces láser.

El procesador también puede tratar datos suministrados directamente en forma numérica: un sistema electrónico controla un conjunto de interruptores ópticos.

Los datos son dirigidos y repartidos a los diferentes pixels del procesador por hologramas regidos por un programa.

La óptica permite transmitir simultáneamente un mismo dato a un gran número de compuertas que trabajan en paralelo ("fan in").

Bajo la acción de las señales luminosas de entrada las compuertas lógicas que constituyen el procesador emiten señales a la salida.

Después de esta etapa, los resultados pueden almacenarse en memoria en redes de pixels biestables, o bien pueden utilizarse en una fase posterior del tratamiento. Entonces se presentan dos casos: el cálculo se efectúa en el mismo procesador aunque tenga que reprogramarse, o los datos se envían a otro procesador.

Futuro

Hasta hace poco, las compuertas ópticas que funcionan a intensidad débil eran aproximadamente cien veces menos rápidas que las compuertas electrónicas. Sin embargo, la gran diversidad de las redes de compuertas permite presagiar potencias de cálculo importantes (número de conmutaciones que puede efectuar un procesador de un centímetro cuadrado en un segundo). Por otra parte, las operaciones se efectúan en paralelo y por lo tanto la

ganancia de tiempo puede ser considerable.

Suponiendo que se pueda disponer de lenguajes de programación apropiados, el ordenador óptico parece ser muy adecuado para efectuar cálculos que requieren la ejecución simultánea de un gran número de tareas idénticas (por ejemplo reconocimiento de formas o tratamiento de imágenes).

COMPUTADORES MOLECULARES

Los inicios de la computación molecular se encuentran desde que el hombre aparece sobre la tierra, ya que el cerebro fue el primer "computador" compuesto por sales, proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y agua; convirtiéndose así en el primer indicio de inteligencia. Sin embargo, las capacidades de un sistema molecular de computación como lo es el cerebro no pueden obtenerse simplemente mezclando los materiales antes mencionados, sino que son el producto de una organización especial de dichos materiales, la cual está orientada a dar solución a problemas tales como: reconocimiento de patrones, comprensión del lenguaje, comprensión de problemas matemáticos y en general de toda actividad que involucre cierto grado de exigencia mental.

En la actualidad, científicos como Michael Conrad están adelantando estudios con miras a comprender la información única sobre las propiedades de las enzimas y otros materiales orgánicos, tales como moléculas de carbono, para emplearlas en el desarrollo de sistemas computacionales que empiecen a exhibir algunas de las características del cerebro humano, superando tanto en velocidad como en rendimiento al mejor de los sistemas computacionales basados en semiconductores.

A continuación explicaremos algunos de los principales diseños desarrollados

en el campo de la computación molecular.

Máquinas de Von Neuman

Una de las primeras invenciones en computación molecular fue la creación mediante moléculas de carbono de las conocidas máquinas de Von Newman, basadas en sistemas electrónicos. Al comprender las propiedades de las moléculas de carbono, los científicos logran construir pequeños y rápidos dispositivos como switches orgánicos y conductores poliméricos basados en la característica de dichas moléculas para reconocer estructuras complementarias y acoplarse con éstas. *Se debe tener* en cuenta que no existirá un conjunto finito de símbolos para programar dichas estructuras como sí los hay en los lenguajes de programación convencionales.

Máquinas de Turing

Otro de los diseños importantes en computación molecular lo constituye la representación mediante cadenas de aminoácidos de las máquinas de Turing, diseñadas hace muchos años. La secuencia de estas cadenas está determinada por la información acumulada en una cadena de ADN primaria, de esta forma las cadenas de aminoácidos se constituyen en la representación lineal de la información formando así una estructura en tercera dimensión. En el desarrollo de estas máquinas se están empleando proteínas construidas de más de veinte tipos de aminoácidos diferentes. Gracias a que cada uno de estos tipos de aminoácidos exhibe características particulares, la proteína podrá actuar como un catalizador a diferentes velocidades sobre una molécula destino llamada sustrato, cambiando su estado, como se muestra en la Figura 4.

Algunas de las características de este modelo es que las proteínas surgen a través de mecanismos de variación, tales como mutaciones, las cuales alteran la secuencia de aminoácidos cambiando la habilidad de la proteína para reconocer el sustrato sobre el cual actuará. Otras mutaciones producen únicamente ligeros cambios en la forma y la función, como se muestra en la Figura 5.

Al diseñar un sistema computacional basado en proteínas se debe tener en cuenta los mecanismos que se utilizarán para cumplir con los objetivos establecidos, como el algoritmo de aprendizaje que se muestra en la Figura 6.

Características computacionales generales

Casi todo modelo de computación molecular está basado en una secuencia de ADN y ciertas estructuras de proteínas. La secuencia de ADN está representada en dos cadenas lineales de aminoácidos de aproximadamente veinte tipos diferentes. Estas cadenas están plegadas dentro de una forma tridimensional que depende de manera definitiva de como están puestos los aminoácidos. El pliegue es un proceso libre de energía que depende de la interacción entre los aminoácidos. Por lo tanto, es posible generar una vasta diversidad de combinaciones de llaves o formas diferentes, especificando secuencias de ADN con ciertas variaciones. Entre las características más importantes están:

Precisión inherente

Los componentes interactivos en un sistema de procesamiento tipo llave deben ser lo suficientemente grandes para tener características de formas complementarias, pero también ser lo suficientemente pequeños para explorar estas características a través de un vigoroso

movimiento denominado "búsqueda browniana". Cada componente interactuante es una molécula individual.

Una forma construida de un agregado de átomos podrá estar inevitablemente afectada por una "búsqueda browniana". Una molécula individual, sin embargo, tiene una forma definitiva, la cual puede tornarse siempre tan larga como sea su correspondiente estructura covalente. La extraordinaria precisión de los patrones de reconocimiento molecular está acorde con el hecho de que las moléculas de un tipo dado son indistinguibles.

Un switche de silicón por el contrario satisface especificaciones formales de lógica, ya que si los estados agregados son suficientemente largos y homogéneos, permiten hacer aproximaciones de valores extremos.

Búsqueda libre de costo

Como la "búsqueda browniana" es termo dinámicamente libre, el patrón de reconocimiento puede ser activado de forma independiente.

Por lo tanto, cierta disipación es requerida para convertir su actividad en un registro macroscópico, acción o estructura. En el caso de una enzima, ésta está estáticamente en el orden de 10 a 100 KT (donde K es la constante de Boltzman y T es la temperatura absoluta). Hoy por hoy, los semiconductores consumen cerca de 10^5 KT como mínimo. Un impulso nervioso típico consume entre 10^5 y 10^{10} KT, dependiendo del tamaño neuronal.

Patrones de reconocimiento en tiempo real

La escala de tiempo de una acción típica de una enzima va desde una décima parte de un milisegundo hasta un milisegundo. Esto es claramente más rápido que la escala de tiempo de un impulso nervioso, pero seis veces más

lenta que el tiempo de acción de un switche de un semiconductor. El tiempo real de poder computacional de una enzima para el problema de reconocimiento de patrones es mucho más grande que el de un computador digital, sin embargo, el número de operaciones de switches digitales requeridos para ejecutar una tarea de reconocimiento es mucho mayor en los dispositivos semiconductores, convirtiéndose en una razón de peso para preferir los sistemas moleculares.

Incremento de la velocidad del quantum

La velocidad del fenómeno lógico de reconocimiento enzimático no es comprensible sobre la base del modelo de llave clásico.

La oportunidad de enlazar una llave macroscópica dentro de una llave completa a través de colisiones randómicas no es muy conveniente.

La acción de las enzimas está acompañada de cambios significativos en la forma, sin embargo los enlaces de los niveles moleculares son facilitados mediante interacciones entre el movimiento de los átomos nucleicos y la estructura electrónica.

Estas interacciones permiten un crecimiento en la velocidad del proceso de enlace por encima de las permitidas para un modelo puramente clásico. El enlace así como el plegamiento descrito anteriormente es un proceso libre de energía.

Computación emergente y adaptabilidad de la evolución

El principal propósito especial de eficiencia en el procesamiento de llaves está ligado a su propia organización dinámica. En el caso de una proteína singular, la representación lineal de información está codificada en su propia se-

cuencia de aminoácidos organizada de acuerdo con las ecuaciones físicas en tercera dimensión.

Las proteínas interactúan con sustratos para producir reacciones en cadena, o entre ellas, produciendo estructuras de alto nivel nuevamente siguiendo ciertas ecuaciones físicas en tercera dimensión.

La intervención de tales organizaciones dinámicas propias no tiene paralelo en ningún sistema de computación digital convencional o en modelos de cadenas lineales de procesamiento de información (Tal como las máquinas de Turing). Esto es como si un programa en Pascal fuera codificado en una burbuja que se auto-organizara dentro de un modelo de herramientas tridimensionales.

Dependencia del carbono

El carbono aparece como elemento de preferencia para sistemas de computación molecular, así como el silicón y sus sustancias congéneres aparecen para hacer switches macroscópicos. El argumento, planteado por el físico Henderson a principios de siglo, hace referencia a que la explosiva estructura del carbono permite una gran variedad de polímeros confiriendo a su vez una alta estabilidad sobre estos polímeros (así la cadena completa de átomos de carbono puede servir como un electrón donador o como un electrón receptor).

Por su parte el silicón no exhibe dichas propiedades y además largas cadenas de polímeros de silicón son menos estables que las de polímeros de carbono. Consecuentemente el número de formas distintas que pueden ser obtenidas es comparativamente limitado.

Mecanismos computacionales

Los switches enzimáticos de lazos específicos en sustratos específicos se

constituyen en paradigmas de los mecanismos existentes en lo que se refiere a la computación molecular, algunos de los cuales serán descritos a continuación:

- **Switches conformacionales:** El cambio en la forma que una enzima presenta en un momento dado, puede ser aprovechado para hacerla funcionar como memoria de almacenamiento, incrementando su capacidad al asociarle una segunda llave de control.
- **Interface óptica:** Las proteínas y otras macromoléculas biológicas pueden contener ciertos pigmentos que les permiten absorber las señales luminosas en cierta porción del rango visible, cumpliendo así funciones específicas.
- **Transferencia de electrones:** Las biomoléculas no pueden conducir electrones de manera similar a los dispositivos eléctricos, pero sí pueden transferir electrones en pequeños paquetes de energía mediante el sistema donante-receptor.
- **Ensamblaje propio:** Las proteínas y otras macromoléculas pueden encajar juntas como piezas de un rompecabezas para formar un mosaico polímacromolecular, el cual tiene la propiedad de autoensamblarse espontáneamente.

COMPUTADORES BASADOS EN PROTEINAS

Los dispositivos fabricados de moléculas biológicas tienen un tamaño menor y un almacenamiento mucho más rápido. Además, inducen, por ciertas características especiales, el uso de procesamiento en paralelo, memorias en tres dimensiones y redes neuronales. El supercomputador más avanzado del mundo no requiere un simple chip semiconductor; el cerebro humano está compuesto de moléculas orgánicas que

combina para formar una red supremamente sofisticada, capaz de calcular, percibir, manipular, autorrepararse, pensar y sentir. Los computadores digitales pueden realizar cálculos mucho más rápidos y más precisos que los humanos, pero aún, los más simples organismos son superiores a los computadores en los otros cinco dominios. Los diseñadores de computadores nunca podrán construir máquinas que tengan las facultades que tiene el cerebro, pero se piensa que se pueden explotar algunas propiedades de las moléculas biológicas –particularmente las proteínas– para construir componentes de computadores que son mucho más pequeños, más rápidos y más potentes que cualquier dispositivo electrónico.

La industria de la computación ha tratado, desde los años sesenta, de construir componentes en chips semiconductores cada vez más pequeños, con el fin de fabricar memorias más grandes y procesadores más potentes, todo teniendo en cuenta el factor económico. Estos chips consisten esencialmente en matrices de switches, usualmente compuertas lógicas, que cambian entre dos estados: 0 y 1. Si la tendencia hacia la miniaturización continúa, el pequeño tamaño de las moléculas sería aprovechado para hacer compuestas lógicas en el año 2030, aproximadamente. Pero existe un gran problema para la industria de computadores (y para todos, consecuentemente): Cada disminución en tamaño en un factor de 2 representa un incremento en los costos de fabricación en un factor de 5. Por lo tanto, la investigación en esta área estará frenada más por el aspecto económico que por el aspecto físico. Aquí es donde el uso de moléculas biológicas como componentes activos en la "circuitaría" de los computadores, representa una alternativa más económica.

Por qué las moléculas

Las moléculas pueden potencialmente servir como switches de computador porque sus átomos son móviles y cambian de una manera predecible. Si de alguna forma se pudieran generar dos estados discretos manipulando el movimiento atómico, entonces se puede usar un estado para representar un 0 y el otro para 1. Tales switches representan una reducción en tamaño del hardware considerable, porque ellos por sí solos son pequeños: cerca de una centésima parte del tamaño de los transistores semiconductores usados hoy en día (los cuales miden cerca de un micrón). Por lo tanto, un computador biomolecular sería en principio una quinta parte del tamaño de un computador actual. En la industria de los computadores se sabe que una reducción en tamaño, generalmente hace que los dispositivos sean más rápidos. Computadores basados en proteínas operarían teóricamente 1.000 veces más rápido que los computadores más modernos.

Pero en esta etapa, no hay propuestas serias de un computador totalmente molecular. Además, por lo menos en el futuro próximo, se impondrá el uso de tecnología híbrida en la cual las moléculas y semiconductores son usados en combinación. Tales alcances proveerían computadores que son cinco veces menores en tamaño y cien veces más rápidos que los actuales.

Las moléculas biológicas también aparecen como una alternativa debido a la capacidad tecnológica de "diseñarlas"; dando a los ingenieros el control que ellos necesitan para fabricar compuestos que realicen exactamente lo que se desea. Los "científicos" de la computación ya están listos para ampliar la versatilidad de dispositivos electrónicos desarrollando nuevas configuraciones del hardware de los computadores (nuevas arquitecturas). Además, los

investigadores han introducido arquitecturas de procesamiento paralelo, las cuales permiten que múltiples conjuntos de datos sean manipulados simultáneamente; con el fin de expandir las capacidades de memoria, están diseñando hardware que almacena en tres dimensiones en vez de dos como se usa actualmente, y están construyendo redes neuronales que simulan las capacidades de aprendizaje por asociación del cerebro (una habilidad necesaria para progresar significativamente en la inteligencia artificial). La habilidad de cambiar sus propiedades en respuesta a estímulos luminosos podría simplificar los requerimientos de hardware para poder implementar las nuevas arquitecturas.

Aunque no existen actualmente, componentes de computador hechos total o parcialmente de proteínas en el mercado, si se realizan grandes esfuerzos para lograrlo. Parece razonable decir que la tecnología híbrida se moverá de la ciencia ficción a una realidad comercial. La tecnología de cristal líquido muestra un ejemplo inicial de un sistema híbrido que ha tenido éxito comercial. La mayoría de los computadores portátiles de hoy dependen de la tecnología LCD (liquid crystal display), la cual combina artefactos semiconductores y moléculas orgánicas para controlar la intensidad de la imagen en la pantalla.

Una gran cantidad de moléculas están bajo consideración para ser usadas en el hardware de los computadores, pero la que mayor interés ha generado ha sido la *bacteriorodopsina*. Durante los últimos diez años, muchos laboratorios han construido prototipos de procesamiento en paralelo, almacenamiento en tres dimensiones y redes neuronales basados en esta proteína. Los científicos soviéticos fueron los primeros en reconocer y desarrollar el potencial de la bacteriorodopsina para la computación.

Tan pronto fue descubierta se formó un equipo de científicos de cinco instituciones soviéticas para trabajar en electrónica biomolecular, como parte de lo que se llamaría proyecto *rodopsina*. Muchos aspectos de este "ambiguo" proyecto son considerados todavía como secretos militares y posiblemente nunca serán revelados. Se sabe que los militares soviéticos utilizaron microfichas, llamadas *biochrome*, de bacteriorodopsina. Además, reportes informales de científicos soviéticos trabajando ahora en Estados Unidos, indican que también fabricaron procesadores de datos ópticos, pero no se tienen detalles de su alcance más significativo: un procesador para un radar militar construido con bacteriorodopsina.

La rodopsina y la bacteriorodopsina son proteínas complejas que incluyen un componente que absorbe la luz conocido como *chromophore*. El *chromophore* absorbe energía de la luz, iniciando una compleja serie de "movimientos" internos que resultan en cambios dramáticos en la estructura de la proteína que los contiene. Estos cambios alteran las características ópticas y eléctricas de la proteína. Por ejemplo, cuando la rodopsina absorbe luz en el ojo humano, el cambio en la estructura desprende energía que sirve como una señal eléctrica capaz de convertirse en información visual para el cerebro.

Por otro lado, la bacteriorodopsina fue escogida por los investigadores gracias a su gran estabilidad, sus propiedades ópticas y su facilidad de "fabricación" en grandes cantidades. Los componentes de los computadores deben ser capaces de soportar cambios en su medio ambiente sin dañarse: la bacteriorodopsina funciona naturalmente (donde fue encontrada) a temperaturas que exceden los 150 grados fahrenheit y está expuesta frecuentemente a luz intensa. Las aplicaciones bajo estudio para

procesadores y memorias, se basan en la explotación del llamado *fotociclo*: series de cambios estructurales en la bacteriorodopsina en respuesta a la luz (en su estado de cambio la molécula es conocida como bR y cada intermedio o estado en las series es identificado por una letra del alfabeto). Los intermedios absorben luz de diferentes regiones del espectro, como consecuencia podemos leer los datos lanzando destellos láser sobre las moléculas y notar el tamaño de la onda que no pasa a través del detector. Como se puede alterar la estructura de la bacteriorodopsina con luz láser y luego, con otra luz láser, determinar qué intermedios están formados, entonces se tienen las bases para escribir y leer de la memoria.

La mayoría de dispositivos bajo estudio hacen uso del estado de cambio y de un intermedio de la bacteriorodopsina. Un estado es designado como 0 y el otro como 1, y el cambio entre estados es controlado por un destello láser. Muchos dispositivos basados en la bacteriorodopsina operarían sólo a la temperatura extremadamente fría del nitrógeno líquido, a la cual la luz inducida hace cambiar de la estructura inicial bR a una intermedia conocida como estado K. Estos dispositivos son mucho más rápidos comparados con los switches en semiconductores (la conversión de bR a K toma unas pocas trillonésimas de segundo comparada con las billonésimas de segundo que toma un dispositivo semiconductor equivalente). Pero la necesidad de temperaturas bajas hace excluir el uso en aplicaciones de propósito general a este tipo de implementación. Sin embargo, los artefactos actuales basados en la bacteriorodopsina funcionan cerca o a temperaturas normales (una condición bajo la cual se establece otro estado intermedio llamado M).

Ciertos intermedios producidos después de que la bacteriorodopsina es expuesta inicialmente a la luz, cambian a estructuras inusuales cuando absorben energía de un segundo destello láser, en un proceso conocido como arquitectura secuencial de un fotón. Por ejemplo, el cambio del intermedio O al P y al Q. Estas estructuras son generadas por dos pulsos consecutivos de luz láser: primero verde y luego rojo. Aunque el intermedio P tiene una corta duración, éste se "relaja" para formar el intermedio Q el cual es estable por períodos extensos, aun durante muchos años. Debido a su estabilidad, el estado Q tiene gran significancia en la búsqueda de memoria durable y de alta densidad. Los intermedios P y Q formados en el proceso secuencial del fotón, son particularmente útiles para el procesamiento paralelo. Además de la escritura de datos en paralelo, las investigaciones incorporan otra innovación: *el almacenamiento en tres dimensiones*.

Proceso de lectura y escritura

Un cubo de bacteriorodopsina está rodeado por dos matrices de destellos láser puestos perpendicularmente uno del otro. Una matriz láser configurada en "verde", activa el fotociclo de la proteína en cualquier plano cuadrado seleccionado (llamados páginas), dentro del cubo. Después de unos milisegundos, cuando el número de intermedios O alcanza el máximo, la otra matriz de luz láser (configurada en "rojo") se dispara. Esta matriz está programada para iluminar sólo la región de la página activada donde los datos serán escritos, cambiando las moléculas a una estructura P. El intermedio P, entonces, "relaja" su estructura para formar el intermedio altamente estable Q. Si se asigna la estructura bR al estado binario 1 entonces el proceso es similar al proceso de switche en un semiconductor o en una

memoria magnética. Múltiples de direcciones de datos pueden ser escritas simultáneamente en otras páginas, debido a que la matriz láser puede activar moléculas en varios lugares.

Para leer de la memoria almacenada se basa en la absorción selectiva de luz roja por parte del intermedio O. Para leer múltiples bits de datos en paralelo, se comienza de la misma manera en el proceso de escritura. Primero, el destello verde de paginación se dispara al cuadrado (página) de proteína a ser leído, iniciando el fotociclo normal de las moléculas en el estado bR. Después de dos milisegundos, toda la matriz de láser es configurada a una luz roja de muy baja intensidad. Las moléculas que están en el estado binario 1 (intermedios P ó Q) no absorben los destellos ni cambian de estado, pero las moléculas que están en estado original binario 0 (estado bR) absorben los destellos (pero tampoco cambian su estructura), porque ellas están en ciclo de absorción de la luz roja (intermedio O). Un detector recibe los destellos que pasan a través de la página y los interpreta como unos y el resto como ceros. Todo este proceso es realizado en diez milisegundos, a una tasa de diez megahertz por segundo para cada página de memoria.

Además de facilitar el procesamiento en paralelo, los cubos de bacteriorodopsina proveen mucho más espacio de memoria que las memorias en dos dimensiones (por ejemplo, los discos recientemente diseñados que incorporan una pequeña película de material magnético que es escrito mediante láser y borrado por medio de un campo magnético). Tales memorias bidimensionales tienen una capacidad de almacenamiento limitada a cerca de cien millones de bits por centímetro cuadrado. En contraste, las memorias ópticas tridimensionales pueden alcanzar, al menos teóricamente, densidades de un

trillón de bits por centímetro cúbico. La velocidad es también un beneficio importante de las memorias volumétricas (tridimensionales). La combinación de almacenamiento tridimensional con el uso de arquitectura paralela amplía la velocidad de tales memorias, así como el procesamiento paralelo en el cerebro humano mejora los procesos neuronales que son relativamente lentos y permite al cerebro ser una máquina inteligente con capacidades de reflexión y de toma de decisiones supremamente rápidas. Todo este proceso cerebral tiene lugar en cerca de diez milisegundos. Si se ilumina un cuadrado que mida 1.024 bits por 1.024 bits dentro de un cubo de proteína que sea más grande, se puede escribir 1.048.576 bits de datos, o cerca de 105 kilobytes, en la memoria en un ciclo de diez milisegundos. Estos valores representan una velocidad promedio de escritura de diez millones de bytes por segundo, incomparable a las lentas memorias semiconductoras. Aún más, cada artefacto de memoria puede acceder más de un cubo de datos y la velocidad de memoria es proporcional al número de cubos operando en paralelo. Así, una memoria de ocho cubos operaría mucho más rápido: a ochenta millones de bytes por segundo. Los cubos de memoria deben ser extremadamente uniformes en su composición para asegurar exactitud en la lectura y escritura, porque demasiadas o muy pocas moléculas en una región podría distorsionar la información almacenada. Fabricar los cubos en baja gravedad puede producir las necesidades de homogeneidad para dispositivos de memoria.

Muchos otros tipos de sistemas de computación basados en bacteriorodopsina están siendo investigados. Por ejemplo, las moléculas biológicas parecen prometer como componentes asociativos de memoria necesitados

para redes neuronales y, eventualmente, inteligencia artificial. Las memorias asociativas operan en forma muy diferente a las memorias usadas en las arquitecturas actuales. Trabajan como lo hace el cerebro, en forma asociativa y neuronal. Muchos científicos creen que la gran capacidad de las memorias asociativas será requerida si se desea alcanzar una verdadera inteligencia artificial.

Por otro lado, la bacteriorodopsina muestra claras ventajas sobre otras sustancias usadas en la investigación. Por ejemplo, los cristales fotorreactivos. La proteína es más sensible a la luz que los cristales orgánicos, permitiendo el uso de niveles de luz más bajos. En consecuencia, se necesita menos energía para escribir y para leer memoria, y la velocidad de los procesos mejora. Además, la bacteriorodopsina puede ser escrita y leída muchas más veces que los cristales, los cuales sufren de fatiga después de ciclos de escritura y lectura repetitivos.

Debido a que el estudio de la bacteriorodopsina natural continúa, muchos laboratorios están explorando la posibilidad de modificar las formas de la proteína con el fin de mejorar su funcionamiento para facilitar su uso en computadores, mediante la ingeniería genética (tratando de reemplazar aminoácidos con el fin de mejorar, por ejemplo, la duración del estado M en el fotociclo).

Los computadores moleculares representan la última meta. Sin embargo, la mayoría de científicos están de acuerdo en que el primer paso es crear computadores híbridos que combinen las mejores características de las dos arquitecturas.

Durante la década pasada, la velocidad de los procesadores aumentó casi mil veces, mientras que las capacidades de almacenamiento han mejorado

en un factor de cincuenta. También, la transferencia de datos dentro del computador es el principal cuello de botella que limita el desempeño final. El procesamiento en paralelo y las interconexiones basadas en la luz, harían computadores híbridos que explotan la eficiencia de las moléculas biológicas, permitiendo almacenar, transferir y manipular grandes cantidades de datos. Para explotar esto se están diseñando cuatro tipos de tarjetas para computadores actuales; ¡dos tarjetas contendrán memoria volumétrica basada en proteínas, con una capacidad total cercana a cuarenta gigabytes! Otra de esas tarjetas será rápida, con almacenamiento permanente y de acceso randómico; la otra será menos cara, removible y con almacenamiento a largo plazo. La cuarta tarjeta contendrá memoria asociativa basada en películas de bacteriorodopsina.

El futuro

El computador híbrido que se piensa será altamente flexible. Tomando ventaja de combinaciones de tarjetas de memorias serán capaces de manejar grandes cantidades de datos; llevar a cabo complicadas simulaciones científicas, o servir como plataformas para las investigaciones en inteligencia artificial. Usando las ventajas de la memoria asociativa se podrán diseñar computadores que funcionen como computadores asociativos neuronales, capaces de aprender y de analizar datos e imágenes de manera muy cercana a como lo hace el cerebro. Dado que la meta más próxima es la de construir un computador híbrido totalmente funcional, se necesita más trabajo e investigación. Aunque se confía en que estén disponibles en los próximos ocho años y que en las próximas décadas se haya revolucionado la industria de los computadores, los usuarios tendrán tarjetas de memoria más grandes y baratas, que tengan

muchos gigabytes de almacenamiento en un pequeño cubo. ¡Imagine la ventaja de cargar en su billetera un pequeño cubo donde guarda el equivalente de una gran enciclopedia y todas las palabras que una persona ha escrito en los últimos diez años!

Pero, la aplicación más dramática podría ser encontrada en otro tópico de la investigación: mediante la obtención de capacidades de almacenamiento en terabytes, de asociamiento neuronal y alta capacidad de procesamiento en paralelo, en los computadores híbridos; se podrá, por primera vez, incorporar los tres requerimientos de hardware cruciales para el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA): la nueva "tarea" para ingresar a una nueva era en la computación.

CONCLUSIONES

Después de lo visto en el trabajo, podemos concluir que el desarrollo de la tecnología tiende a cambiar radicalmente la arquitectura de los computadores en un futuro no muy lejano.

La máquina podrá conducir información en una época en la cual el único límite del poder de la computación será la velocidad de la luz.

Estos avances permitirán el desarrollo de nuevas áreas de estudio de la ciencia, como lo son la Inteligencia Artificial, Realidad Virtual, Redes Neuronales, etc.

Las nuevas tendencias de procesamiento paralelo, almacenamiento en tres dimensiones y transmisión rápida de la información se ven reforzadas con los adelantos en la computación óptica y molecular.

Es necesario que los investigadores a nivel mundial, sigan desarrollando nuevas tecnologías que permitan un mejor nivel de vida de las personas y de la sociedad.

La creación de nuevas tecnologías plantea nuevos problemas no tan sencillos y además el tiempo de adaptación a las mismas es considerable, lo que redundará en que no se dispondrá fácilmente de ellas en la vida cotidiana.

El paso de las arquitecturas tradicionales a las nuevas podría traer problemas de compatibilidad y además se requiere crear nuevos lenguajes y técnicas para poder manejar estas nuevas arquitecturas.

Toda persona relacionada directamente con la informática debe estar al tanto de las nuevas tendencias en el área de la computación, ya que ésta es una herramienta para su trabajo, por lo tanto es importante conocer acerca de estos nuevos desarrollos.

BIBLIOGRAFIA

- BIRGE, Robert R. *Protein based computers*. Revista *Scientific American*, marzo de 1995, vol 272 No. 3.
- CONRAD, Michael. *On design principles for a molecular computer*. Artículo. Mayo de 1995.
- CONRAD, Michael. *Molecular Computing Paradigms*. Revista *Computer*. Noviembre de 1992, vol. 25 No. 11.
- HÖNERLAGE, Bernd. GRUM, Jean-Bernard. LEVY, Roland. *El ordenamiento*. Revista *Mundo Científico*. Enero de 1989, vol. 9 No. 87.
- WATERS, Tom. *Ligth Bytes*. Revista *Discover*. Enero de 1991, vol. 12 No. 1.

Curva de Airy

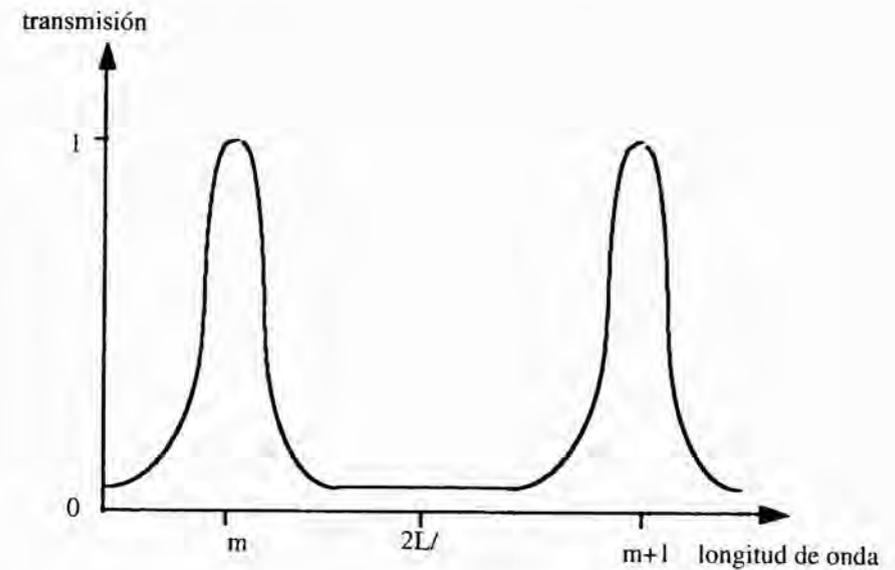


Figura 1

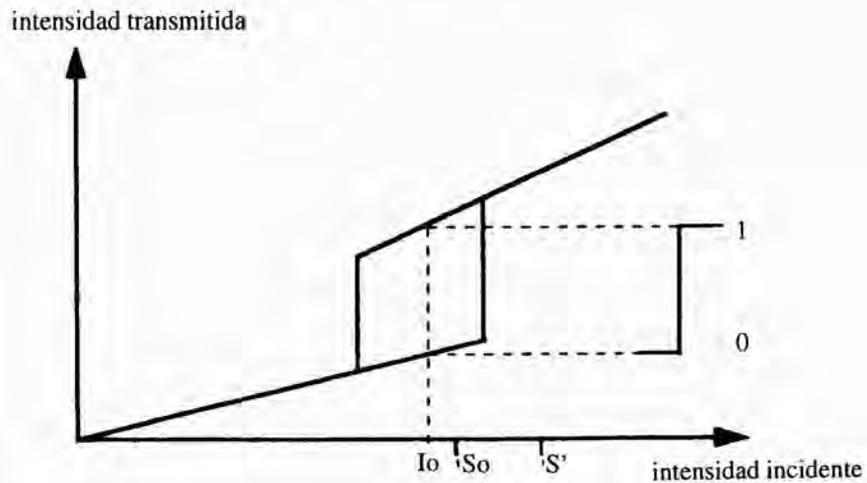
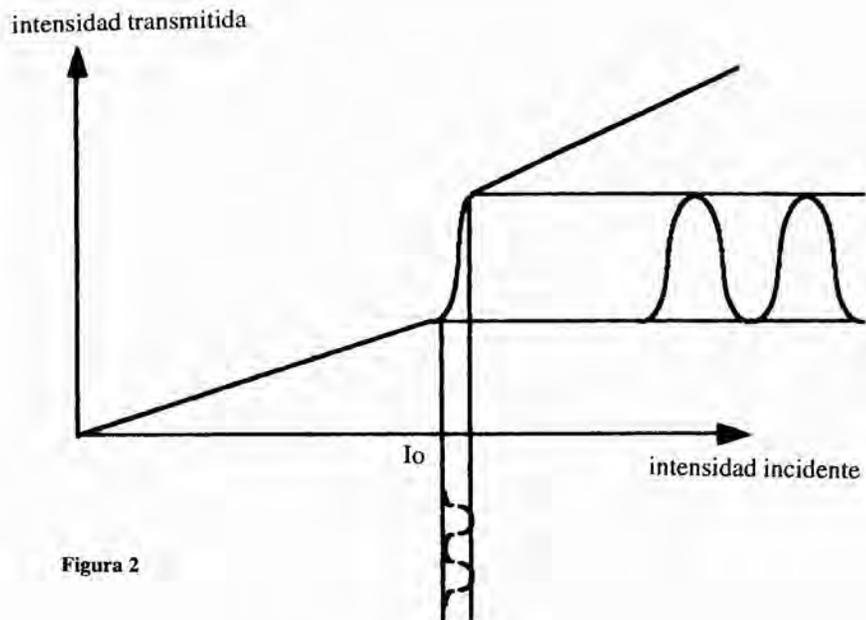


Figura 4. Las proteínas como switches de reconocimiento y la utilización de cadenas de aminoácidos para representar la información.

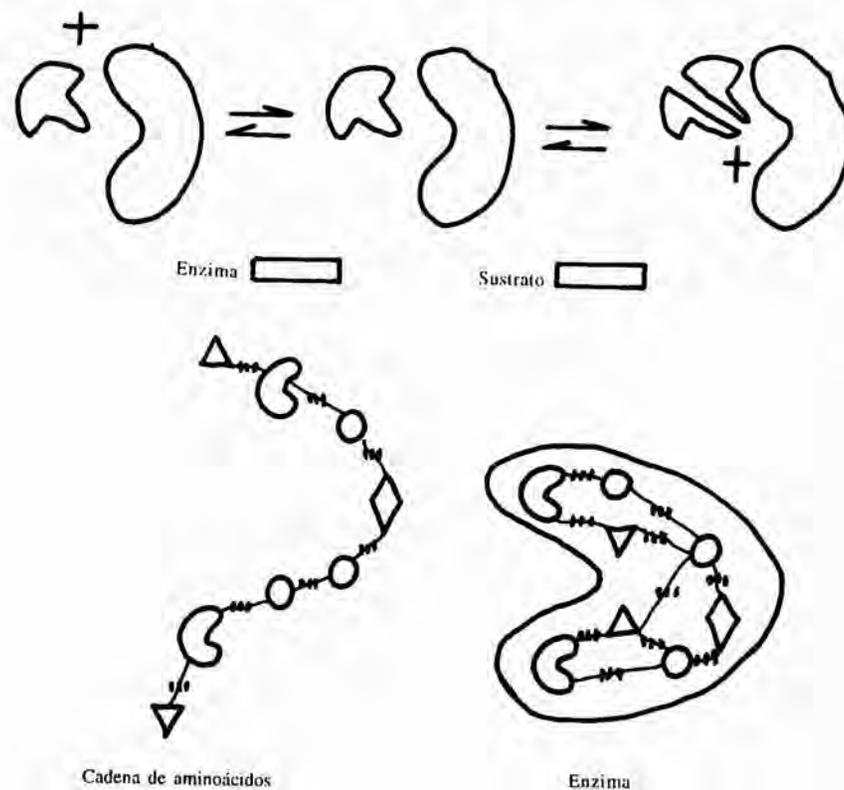


Figura 5. Muestra la adaptabilidad evolutiva de las enzimas gracias a su capacidad para adaptarse a los cambios en las cadenas de aminoácidos mediante mutaciones.

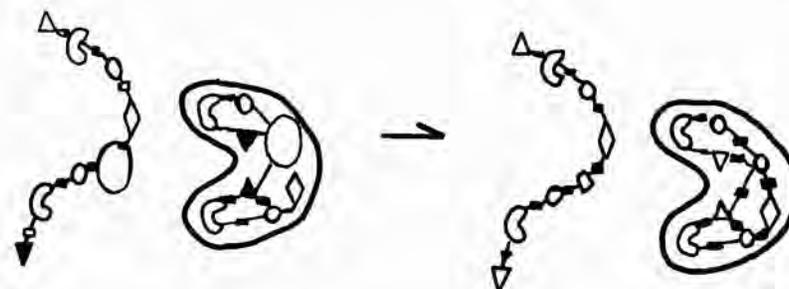
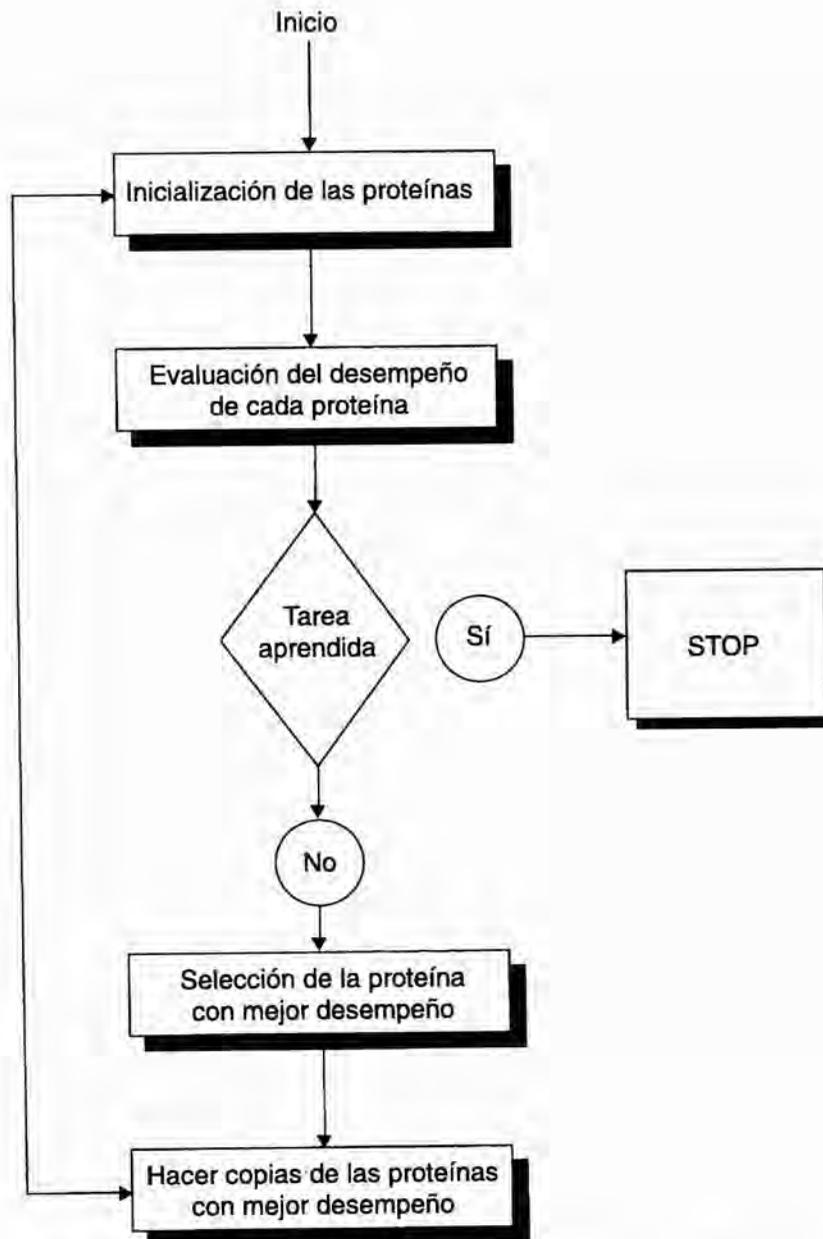


Figura 6. Algoritmo de aprendizaje evolutivo.



EL “LOBBYING”

RAMIRO SAAVEDRA BECERRA

Abogado Universidad Javeriana, D.E.A. en Derecho Administrativo y especialización en Ciencias Políticas, Universidad de París II.
Profesor Universidad San Buenaventura - ICESI

En el curso del debate parlamentario que, a fines de 1994 culminó con la aprobación de la Ley de televisión, y por razón de las intensas presiones que hicieron los grandes grupos económicos interesados en la explotación del nuevo esquema de privatización, se habló de reglamentar el *lobby* o más exactamente el *lobbying*¹, en el país.

Tanto el presidente del Congreso como otros parlamentarios consideraron que era necesario enmarcar esa práctica en un marco legal serio y severo.

Sería conveniente y deseable, sin embargo, que el proyecto, y la ley que finalmente resulte, tengan en cuenta que nuestras instituciones jurídico-políticas, inspiradas en el modelo francés, parten de la existencia de un *interés general*, que conviene a todos y cuyo intérprete exclusivo es el Estado al cual corresponde el monopolio de su definición y búsqueda. Pocas acusaciones se consideran más graves en ese modelo

que la de actuar con un fin distinto al interés público, o de comprometer a la administración pública con tal o cual categoría de intereses privados o partidistas.

Es tan arraigado este sentimiento en Francia, que el General De Gaulle expresaba en 1963, en una de sus alocuciones televisadas, que “el Estado tiene por objetivo y por razón de ser el servicio del interés general”. Y su sucesor, el presidente Pompidou decía siete años más tarde ante el Consejo de Estado que “sólo el Estado, por los órganos constitucionales que la nación misma le ha otorgado directamente, puede tener del interés general una visión completa y desinteresada”.

No es pues extraño que el concepto central y fundador de nuestro Derecho Administrativo, como el de buena parte de la retórica política, sea precisamente este del “interés general”. Es él quien sustenta y legitima las nociones de *potestad pública* y de *servicio público*, crite-

1. Es preferible emplear la terminología inglesa al espantoso “cabildeo”, cuyo uso mismo es prueba de la ignorancia que hay sobre el tema.