

Introducción

Siempre, desde mi infancia me ha apasionado conocer este maravilloso Universo; supongo que muchos hombres y mujeres habrán tenido la misma curiosidad y la misma inquietud que yo tengo. Durante cincuenta años me he dedicado a investigarlo: su formación, funcionamiento, estructura, su principio y fin.

Muchas ciencias me han ayudado a su conocimiento. Física, astronomía, filosofía, teología, etc., pero sobre todo, la cibernética y la informática.

Con ayuda de ésta he llegado a la conclusión de que el Universo es un ordenador inmenso, infinito, ilimitado. Es como nuestro cerebro, pero sin límite. Los astros, estrellas, planetas, galaxias, etc., son semejantes a las neuronas, donde se procesa la información y se transmite de un astro a otro mediante la gravitación universal y las energías que emiten las estrellas como en las neuronas.

Un ejemplo que avala esta afirmación lo tenemos en la energía del Sol (información), que llega a la Tierra donde es procesada por las plantas mediante la fotosíntesis y la función clorofílica.

Así, deseo que al finalizar la lectura, lector, también aportes tus conocimientos y te sientas más liberado por el conocimiento de nuevas verdades. El error y la ignorancia son esclavitud, pero la verdad te hará libre.

EL AUTOR

Presentación de la obra

A los científicos:

Os presento este libro, fruto de muchos años de investigación. Es muy difícil comprender el Ordenador Universal, por su complejidad, pero si partimos del ordenador construido por el hombre, podremos llegar a conocerlo mejor.

Para llegar a comprender cómo funciona el mundo, es decir, el Ordenador Supremo, el que tiene más memoria, inteligencia y decisión, es necesario entender bien el ordenador artificial, construido por el hombre. Cuanto mejor se conozca éste, mejor se comprenderá aquél. Empleando el método de comparación y relación se puede llegar a comprender el Universo. Así lo espero.

Mi agradecimiento a los compañeros que me han ayudado en este cometido. A todos, un afectuoso saludo.

EL AUTOR

Relaciones entre los sistemas de información, sistemas nerviosos y sistemas solares

Podemos comparar el ordenador con el cerebro y ambos con el Universo o Cosmos.

Así pues, haremos las siguientes comparaciones para comprender el cerebro y, sobre todo, el Universo, y, finalmente, demostrar que el Universo es un Ordenador Universal.

- 1) Comparación entre el ordenador y el cerebro.
- 2) Comparación entre el ordenador y el Universo.
- 3) Comparación entre el cerebro y el Universo.

El ordenador tiende a copiar, a imitar el modelo del cerebro y tanto es así que llegará a superarlo.

Desde el nacimiento, el cerebro adquiere más información sobre el mundo real que le rodea, tiende a imitar, copiar el Universo que es su modelo. La humanidad, año tras año, va descubriendo sus secretos. Cada vez se conoce más y mejor el mundo que vive, al mismo tiempo que es parte del universo. Llegará a comprenderlo tanto que lo superará con creces. Lo mismo que el ordenador llegará a superar el cerebro, éste también llegará a superar en información al mundo que habita.

Pero como el ordenador es un producto del cerebro, siempre estará controlado por el hombre que lo ha creado para su ayuda y protección; lo mismo que la naturaleza creó el cerebro este siempre estará sometido a la misma. Es lo mismo que un hijo, que por ley natural nunca se sublevará contra su padre.

Comparación entre el ordenador y el cerebro

El modelo del cerebro similar a un ordenador tiene mayor validez que igualarlo a una central telefónica, pues en ésta hay conmutación de mensajes (intercambio de información), mientras que en el ordenador se manifiesta un proceso de información.

El cerebro dispone de programas mediante los cuales puede procesar la información que le llega a través de las vías aferentes (entrada) y manifestar los resultados de las operaciones en forma de respuestas (salida).

También el cerebro puede, como los ordenadores, almacenar datos y recuperarlos cuando se desea, no obstante, también hay profundas diferencias entre ambos.

Entre las diferencias vamos a reseñar algunas de las más importantes y añadir algún comentario.

El cerebro opera sobre principios químicos mientras que los ordenadores lo hacen sobre principios eléctricos.

En realidad este punto es tan obvio que no necesita comentarios. Si acaso decir que en la naturaleza los principios químicos son, en el fondo, fenómenos físicos.

El cerebro opera en paralelo mientras que los ordenadores lo hacen en forma secuencial.

Aquí sí cabe añadir que también los ordenadores pueden operar en la modalidad de multiproceso, tratando información procedente de diferentes aplicaciones simultáneamente y en paralelo, llevando a cabo diversas operaciones sincrónicamente dentro de una misma aplicación. Todo de-

pende de la estructura o configuración del sistema de información (terminología que incluye a los ordenadores como parte integrante del mismo).

El cerebro recibe entradas de información de hasta 106 receptores sensoriales, mientras que el ordenador sólo puede tratar una entrada en un momento determinado.

En realidad, con una configuración muy potente de ordenadores se puede manejar muchos miles de sensores, y con una configuración más o menos gigantesca, aunque no fuera rentable y nadie se interesara en ella, también se podría tratar simultáneamente los 106 sensores. Otra cosa muy distinta es que el tratamiento pudiera proporcionar una información tan maravillosa e inigualable como la que proporciona el cerebro.

El cerebro es un complejo formado por un gran número de ordenadores unidos íntimamente de forma que sus entradas simultáneas pueden ser analizadas, comparadas y correlacionadas.

Aquí sí que la organización de los sistemas de información formados por ordenadores es más pobre que la del cerebro, pues los microordenadores con los que está formado el cerebro son las neuronas. En este caso no es imaginable, ni teóricamente, una red de 1.010 microordenadores.

Una importante característica del sistema nervioso es su estructura jerárquica.

Algo parecido sucede en los Sistemas de Información donde apreciamos:

- Unidades centrales y periféricas (o satélites).
- Jerarquías de memorias.
- Estructuración jerárquica de los sistemas de programación.
- Etcétera.

Como una consecuencia de su origen evolutivo, el cerebro está formado por una serie de niveles de diferente origen filogenético, cada uno controlando los del nivel inferior y siendo controlado por los superiores.

También los Sistemas de Información fundamentan su estructura y operatividad en una organización jerárquica.

El cerebro posee una considerable redundancia.

Actualmente no es comparable la maravillosa fiabilidad del cerebro con la de un Sistema de Información, pero en el futuro, será una probabilidad satisfecha por la realidad.

Sin embargo, conviene resaltar el hecho de que gracias a los Sistemas de Información que operan en multiproceso y a la redundancia de los circuitos impresos que poseen, se puede establecer, como hipótesis teórica, un cierto paralelismo entre el cerebro y el ordenador por lo que respecta a la redundancia¹.

Las operaciones básicas del cerebro están genéticamente programadas y proporciona respuestas estereotipadas a ciertos estímulos ambientales.

También los ordenadores disponen de micro programa y de programas en general que proporcionan respuestas previstas a ciertas entradas de información del medio ambiente en que trabaja el ordenador.

En todos los animales superiores el cerebro está constantemente «programándose» a sí mismo, a fin de modificar su respuesta en función de un aprendizaje previo.

Una vez más hay que reconocer que es infinitamente superior esta potencialidad del cerebro que los resultados obtenidos en el proceso de aprendizaje llevado a cabo por las inteligencias artificiales y, por extensión, de los ordenadores o Sistemas de Información. Hay que tener en cuenta que el cerebro tiene un recorrido evolutivo mayor que las generaciones de ordenadores vigentes en la actualidad. Aunque es plausible pensar que las distancias se reduzcan y llegue a alcanzar la potencialidad del cerebro.

El interés del siguiente ensayo se fundamenta en establecer paralelismos entre ciertas funciones del cerebro y los ordenadores desde una perspectiva sistemática y con el objeto de justificar el valor heurístico del modelo de los Sistemas de Información a la hora de investigar el cerebro en particular y el hombre en general. Huelga decir que consideramos que el cerebro no es lo mismo que un Sistema de información o similar a otro sistema artificial que puede construirse ahora.

¹ En comunicación, cierta repetición de la información contenida en un mensaje, que permite, a pesar de la pérdida de una parte de éste, reconstruir el contenido del mismo (nota del editor).

Además del programa genético, cada cerebro tiene su historia individual que se integra en su almacén de información.

Esto ocurre en cualquier Sistema de Información porque además de los programas básicos que existen en cualquier tipo de ordenador que se utilice, en cada instalación se crean los programas de aplicación que necesita en particular (estos programas de aplicación equivaldrían a la historia individual que antes señalaba).

El sistema nervioso tiene una actividad espontánea básica que es modificada por los estímulos. En los organismos superiores esta actividad espontánea puede ser una fuente interna de estímulos tan afectiva como los estímulos ambientales.

Aquí el posible paralelismo que no tiene ningún interés para el lector.

El cerebro no tiene un único tipo de codificación. El esquema del código, es decir, el sistema de señales que representa la entrada de información es, alternativamente, digital y analógico.

Realmente, los sistemas basados en sensores (que son un tipo particular de los Sistemas de Información) tienen la posibilidad de aceptar señales analógicas y digitales.

Por otra parte, lo que en definitiva entiende un ordenador (digital) son las señales digitalizadas que le llegan a su unidad central de proceso y eso es, precisamente, lo que hacen los receptores sensoriales (convertir estímulos visuales, acústicos, olfativos, etc., en impulsos bioeléctricos digitalizados y modulados en frecuencia).

Los ordenadores aceptan, naturalmente, sin necesidad de conversión, las señales digitales.

PROCESO DE LA INFORMACIÓN

La mayor parte de los organismos nacen con su sistema nervioso programado para desarrollar las funciones homeostáticas que les son vitales para sobrevivir. De aquí que las vías neuronales estén también genéticamente determinadas.

En el cerebro hay circuitos neuronales genéticamente determinados y que son los responsables de los esquemas de estímulo-respuesta innatos y de ciertos comportamientos. Los circuitos originados por información adquirida son aquellos donde se manifiesta el comportamiento aprendido. Es decir, que hay programas innatos y reprogramación continua.

En términos informáticos podría hacerse la siguiente asociación: los programas innatos equivalen a microprogramas permanentes y la reprogramación continua en el tiempo equivale a la creación de nuevos programas —que constituyen la historia variable en cada individuo.

Estos microprogramas y los programas variables serían los utilizados por otros mecanismos del cerebro para el proceso de información en cada momento de la vida del individuo (uno de los graves problemas es determinar, si es que pueden identificarse, cuáles son esos mecanismos y si todos tienen una explicación física). Ante estos graves problemas que señalamos nuestra teoría trataría de justificarlo en lo posible, siempre basándonos en un proceso de información de tipo químico o proceso de integración jerárquica.

CÓDIGO COMPLETO Y CÓDIGO ABREVIADO

En términos informáticos podemos asimilar código completo o lenguajes de alto nivel y código abreviado o código de máquina.

El código de máquina es el que entiende el ordenador directamente; el lenguaje de alto nivel necesita ser traducido —lo hace el ordenador mediante un programa traductor— a código máquina.

Cuando un programa se prepara en un lenguaje de alto nivel el ordenador emplea más tiempo en procesar la información que si el programa está preparado en código de máquina. La razón de emplear lenguajes de alto nivel es porque es mucho más sencillo que preparar (codificar) los programas.

Los centros del lenguaje (situados en el hemisferio izquierdo del cerebro) utilizan el código abreviado —código de máquina—, por lo que el tratamiento del lenguaje en este hemisferio sería más rápido que en el derecho.

Las relaciones entre los ordenadores y el cerebro son las de mayor preocupación ya que las implicaciones afectan al lugar que las personas se han asignado en el mundo; por ello, parecen necesitar de una reflexión desde diversos campos cuando el funcionamiento del cerebro empieza a dejar de ser una *caja negra*.

ASPECTOS ESTRUCTURALES DEL CEREBRO

En el cerebro hay dos hemisferios que al observarlos en detalle vemos que son distintos —aun cuando decimos hemisferios, cada bloque incluye las zonas subcorticales y tronco cerebral asociado.

El hemisferio izquierdo contiene menos miniprocesadores que el derecho. La razón de esto es que el hemisferio izquierdo es el que realiza las funciones más analíticas, lineales, lógicas y secuenciales, mientras que el hemisferio derecho desarrolla las funciones en paralelo y no lineales y, sobre todo, opera con totalidades.

Desde un punto de vista informático, para realizar las funciones del hemisferio derecho se necesita simultanear una mayor potencia de cálculo y procesar una mayor entrada de datos; por esta razón, hemos representado un mayor número de miniprocesadores tanto para el tratamiento de la información (en la unidad aritmética y lógica) como para procesar la información de los canales.

Por otra parte, el que haya un mayor número de miniprocesadores en el hemisferio derecho no quiere decir que deban tener la misma potencia que los del hemisferio izquierdo, sino simplemente que deben ser más en número para tratar más información en paralelo.

Hay que observar que, implícitamente, estamos admitiendo para los lenguajes naturales unas estructuras como las definidas en las gramáticas generativas (resueltas en lógicas arborescentes), lo cual implica un tratamiento secuencial del lenguaje (en el hemisferio izquierdo y, de esto, no podemos estar seguros bajo el estado actual de las investigaciones lingüísticas). En definitiva, hemos tenido en cuenta la lateralidad.

Vemos que ambos hemisferios están comunicados entre sí, lo cual representa la unión a través del cuerpo calloso.

¿Qué sucede si esta comunicación desaparece? Pues, sencillamente, que cada unidad central de proceso (o sea, cada hemisferio) trabaja independientemente del otro.

Ahora bien, si no hay sincronización (por falta de comunicación) adecuada, el rendimiento del conjunto (el cerebro) disminuye. Si aumenta la coherencia dentro de un mismo hemisferio, y también entre hemisferios, aumentará la inteligencia y la creatividad.

Por otra parte, si hay comunicación entre hemisferios y uno de ellos está dañado, en muchos casos el otro puede asumir las funciones del primero (es como si los programas de una unidad central de proceso pudieran ser procesados por la otra). Esto proporciona al cerebro una mayor fiabilidad y adaptación a situaciones adversas.

Un miniprosesor debe ser considerado como una masa neuronal donde la actividad de la misma es superior a la suma de los efectos sinérgicos. Por otra parte, el miniprosesor estará representado por una masa neuronal especializada para esta función.

La memoria de corta duración es la memoria de trabajo de la unidad central de proceso (en este caso las memorias de corta duración de las dos unidades centrales de proceso representativas de los dos hemisferios).

La memoria de larga duración es la memoria del mismo nombre de las unidades centrales de proceso que representan los dos hemisferios.

En la memoria hemos incluido tres tipos de programas:

- a) Sistema operativo.
- b) Programas genéticos.
- c) Programas adquiridos.

El papel del sistema operativo es el que más dificultades presenta para ser interpretado por el hombre.

Los programas genéticos podrían ser considerados como microprogramas innatos (es decir, análogos a los circuitos de los sistemas de información que representan unos programas básicos para el sistema de información).

Aunque aparecen incluidos en la memoria de corta duración, debe

entenderse que no desaparecen con el tiempo; lo que sucede es que análogamente a lo que ocurre en los sistemas de información, hemos querido visualizar el cerebro operando y, para ello, el sistema operativo —en los sistemas de información parten de él sólo— debe estar ya en la memoria de trabajo (la de corta duración); algo análogo puede decirse de la información que se deriva de los microprogramas.

Los programas genéticos deben entenderse como los programas incorporados desde el principio al sistema que representa el cerebro.

Los programas adquiridos son los que el hambre va adquiriendo mediante el aprendizaje.

Desde nuestro punto de vista, el concepto de programa es uno de lo que presenta mayores dificultades de comprensión, ya que es difícil pensar cómo los estímulos, significativos o no, pueden ir modificando y construyendo esos programas —si partimos de que los programas genéticos son algo somáticos, ¿qué son los programas adquiridos?, ¿cómo se explica que la información contenida en los mensajes que recibimos en el aprendizaje se transforme en soma y, además, que se adapte perfectamente a lo ya somatizado? En mi opinión, con excepción de los programas genéticos que controlan el desarrollo y diferenciación de tejidos poco o nada puede decirse de lo demás.

Los miniprosesadores disponen de relojes biológicos; se puede justificar la existencia de tales relojes por las interacciones que existen en las masas neuronales para controlar todas las operaciones.

Además de los relojes biológicos, de los miniprosesadores, cada hemisferio dispone de un reloj que integra, a escala macroscópica, el tiempo lineal en el hemisferio izquierdo y no lineal en el hemisferio derecho.

El concepto de tiempo lineal y no lineal dentro de un mismo cerebro es muy importante porque, según predomine uno u otro, la percepción del tiempo es distinta.

La memoria a corto plazo está claramente relacionada con el hipocampo mientras que la de largo plazo está distribuida en la corteza cerebral.

Nuevos avances permiten conocer cómo el cerebro graba los recuerdos.

Así funciona la memoria. El cerebro es un órgano capaz de almace-

nar una inmensa cantidad de información, pero el proceso que lo hace posible es un enigma para la ciencia. Sin embargo, nuevas investigaciones han conseguido localizar algunas estructuras cerebrales implicadas en la fijación de los recuerdos y su almacenamiento en la corteza cerebral, hallando respuestas nuevas a muchos de los mecanismos de la memoria.

Un impulso enciende un patrón particular de conexiones nerviosas.

El impulso viaja rápidamente hacia el córtex visual, una zona de la corteza cerebral situada en la nuca. El cerebro opera sobre él, mediando una serie de cambios.

En una décima de segundo desde que salió de la retina, el mensaje ya está en el córtex temporal. Y hace una parada obligatoria en el hipocampo.

Sigamos comparando el ordenador con el cerebro. Voy a analizar las similitudes y diferencias entre estos dos tipos de autómatas. Hacer resaltar las similitudes conduce a temas bien conocidos. Hay también elementos diferentes, no solamente en aspectos más obvios, como el tamaño y la velocidad, sino también en ciertas áreas mucho más profundas, que incluyen los principios de funcionamiento y control, de la organización global, etc. Mi primer objetivo es desarrollar alguno de dichos principios. Sin embargo, para estimarlos debidamente, es necesario una yuxtaposición y combinación con los puntos de similitud y con los de mayor diferencia superficial (tamaños, velocidad). Por ello el análisis debe incidir también sobre tales aspectos.

Descripción simplificada del funcionamiento de las neuronas

La observación más inmediata con respecto al sistema nervioso es que su funcionamiento es digital. Es necesario analizar este hecho y las estructuras y funciones en las cuales se basa de una forma más completa.

El componente básico de este sistema es la célula nerviosa, la neurona, y la función normal de una neurona es generar y propagar un impulso nervioso. Este impulso es un proceso más bien complejo, con una variedad de aspectos eléctricos, químicos y mecánicos. Parece, sin embargo, que constituye un proceso definido, es decir, es casi el mismo bajo cualesquiera condiciones, y representa una respuesta unitaria, esencialmente reproducible, a una variedad amplia de estímulos.

Analizaré con algo más de detalle los aspectos del impulso nervioso que parecen ser relevantes en el presente contexto.

LA NATURALEZA DEL IMPULSO NERVIOSO

La célula nerviosa consiste de un cuerpo del que se originan, directa o indirectamente, una o más ramas. Tales ramas se denominan los axones de la célula. El impulso nervioso es una carga continua propagada, normalmente, a una velocidad fija que puede, sin embargo, ser función de la célula nerviosa en cuestión a lo largo de un axón (o más bien, a lo largo de cada uno de ellos). Este impulso puede ser visto bajo múltiples

aspectos. Una de las características es, ciertamente, la de ser una perturbación eléctrica; de hecho, se le describe la mayoría de las veces como precisamente eso. La perturbación es un potencial eléctrico de unos 50 milivoltios y de una duración de alrededor de un milisegundo. Concurentemente, con esta perturbación eléctrica, se producen también cambios de naturaleza química a lo largo del axón. Así, en la parte del axón sobre la cual pasa el impulso potencial, la constitución iónica del fluido intracelular cambia, y también lo hacen las propiedades electroquímicas (conductividad, permeabilidad) de las paredes del axón o membrana. En los extremos del axón, el carácter químico de este cambio es incluso más obvio; allí, aparecen sustancias específicas cuando llega el impulso. Finalmente, es probable que se produzcan también cambios mecánicos. Desde luego, es muy posible que los cambios de las distintas permeabilidades iónicas de la membrana de la célula puedan producirse únicamente mediante reordenación de sus moléculas, esto es, por cambios mecánicos que afectan las posiciones relativas de estos componentes.

Debe añadirse que todos los efectos ocurren a escala molecular, el espesor de la membrana de la célula es del orden de unas pocas decenas de micras (esto es 10⁻⁵ cm), lo que es una dimensión molecular comparable a las grandes moléculas orgánicas que están involucradas en el proceso. Las anteriores distinciones entre efectos eléctricos, químicos y mecánicos no están tan bien definidas como pareciera en un principio. Desde luego, a escala molecular no hay diferencias muy marcadas entre todos estos tipos de cambios; cada cambio químico es inducido por una modificación en las fuerzas intramoleculares que producen cambios en las posiciones relativas de las moléculas, esto es, son inducidos mecánicamente. Mas aún, cada uno de tales cambios mecánicos intramoleculares altera las propiedades eléctricas de la molécula implicada, induciendo así las modificaciones en las propiedades eléctricas y en los niveles de potenciales eléctricos relativos.

Para resumir: en la escala habitual (macroscópica) los procesos eléctricos, químicos y mecánicos representan alternativas entre las cuales pueden establecerse profundas diferencias. Sin embargo, al nivel casi molecular de la membrana nerviosa, todos estos aspectos tienden a confluir. Por eso no es sorprendente que el impulso nervioso aparezca como

un fenómeno que puede ser considerado bajo el punto de vista de cualquiera de ellos.

EL PROCESO DE ESTIMULACIÓN

Los impulsos nerviosos puestos en marcha son comparables, independientemente de cómo hayan sido inducidos. Debido a que su carácter no está definido de un modo preciso (puede ser considerado tanto eléctrica como químicamente), su inducción también puede ser atribuida alternativamente a causas eléctricas o químicas. Sin embargo, en el interior del sistema nervioso es debido principalmente a otros impulsos nerviosos (a uno o varios de ellos). Bajo tales condiciones, el proceso de su inducción (la estimulación de un impulso nervioso) puede tener éxito o no. Si fracasa, aparece al principio una perturbación transitoria, pero pocos milisegundos después, ésta se amortigua y desaparece. Entonces no se propaga amortiguación alguna a lo largo del axón. Si tiene éxito, la perturbación alcanza muy pronto una configuración típica y en esta forma se propaga a lo largo del axón. Es decir, un impulso nervioso típico se desplazará a lo largo del axón y su aparición será razonablemente independiente de los detalles del proceso que lo indujo.

La estimulación del impulso nervioso se produce normalmente en el cuerpo de la célula nerviosa o cerca del mismo. Su propagación ocurre a lo largo del axón.

EL MECANISMO DE ESTIMULACIÓN DE IMPULSOS POR IMPULSOS: SU CARÁCTER DIGITAL

Puedo ahora volver al carácter digital de este mecanismo. Los impulsos nerviosos pueden claramente ser considerados como un marcador binario en el sentido analizado previamente: la ausencia de un impulso representa entonces un valor (por ejemplo, el dígito binario 0), y su presencia representa el otro (digamos, por ejemplo, el dígito binario 1). Desde luego, esto debe ser interpretado como un acontecimiento en un

axón específico —o más bien, en todos los axones de una neurona específica—, y, posiblemente, en una relación temporal específica con otros acontecimientos. Debe ser, pues, interpretado como un marcador (un dígito binario 0 o 1) con un papel lógico específico.

De acuerdo con lo expuesto, los impulsos que aparecen en los axones de una neurona son, normalmente, provocados por otros impulsos que hacen impacto en el cuerpo de la neurona... Esta estimulación es generalmente condicional, esto es, ciertas combinaciones y sincronismos de estos impulsos primarios provocan los impulsos secundarios en cuestión mientras todos los demás no alcanzarán la categoría de estímulo. Esto es, la neurona es un órgano que acepta y emite entidades físicas definidas: los impulsos. Bajo la recepción de impulsos en ciertas combinaciones y sincronismos, la neurona será estimulada para emitir un impulso propio, de otra forma no lo emitirá. Las reglas que describen a qué grupos de impulsos se responderá así, son las reglas que la gobiernan como un órgano activo.

Esta es claramente la descripción del funcionamiento de un órgano en una máquina digital y de la manera en la cual el papel y la función de un órgano digital tiene que ser caracterizado. Esto justifica, por tanto, la afirmación original de que el sistema nervioso tiene un carácter digital.

La descripción anterior contiene algunas idealizaciones y simplificaciones que serán analizadas seguidamente. Una vez que éstas se toman en consideración, el carácter digital ya no aparece tan claro e inequívocamente. A pesar de ello, las características señaladas son las más evidentes y llamativas. Parece por ello adecuado empezar el análisis como he hecho aquí, acentuando el carácter digital del sistema nervioso.

CARACTERÍSTICAS TEMPORALES DE LA RESPUESTA, FATIGA Y RECUPERACIÓN DEL NERVIO

Antes de entrar en estas cuestiones es adecuado exponer algunas observaciones orientativas acerca del tamaño, requerimientos en energía y velocidad de la célula nerviosa. Estas serán especialmente orientativas e ilustrativas cuando se enuncien en términos comparativos con los princi-

pales competidores artificiales. Los típicos órganos activos de las modernas máquinas lógicas y de cálculo. Estos son, desde luego, los transistores.

He dicho anteriormente que la estimulación de la célula nerviosa se produce normalmente en o cerca de su núcleo. En realidad, una estimulación perfectamente normal es también posible a lo largo de un axón. Es decir, un potencial eléctrico adecuado o un estimulante químico en concentración adecuada, aplicados en un punto del axón, iniciarán allí una perturbación que pronto se convierte en un impulso típico, desplazándose arriba y abajo del axón desde el punto estimulado. Desde luego, la estimulación usual se produce mayoritariamente en un conjunto de ramas que se extienden a corta distancia del cuerpo de la célula, las cuales, además de sus menores dimensiones, son esencialmente axones. Dicha estimulación se propaga desde estos hacia el cuerpo de la célula nerviosa (y desde ella hacia los axones regulares). A este propósito, los receptores del estímulo se denominan dendritas. La estimulación normal, cuando proviene de otro impulso (o impulsos) emana de una determinación especial del axón (o axones) que propaga el impulso en cuestión a través de una sinapsis (el que propaga el impulso pueda estimular directamente a otro axón extremadamente cercano, es un tema que no precisa ser analizado aquí). La duración de la estimulación transináptica es del orden de 10^{-4} segundos, definiéndose este tiempo como la duración entre la llegada del impulso presináptico y la aparición del impulso en el punto más cercano del axón postsináptico. Sin embargo, esta no es la forma más significativa de definir el tiempo de reacción de una neurona cuando se la considera como un órgano activo en una máquina lógica. La razón de ello estriba en que, inmediatamente después de que el impulso se ha evidenciado, la neurona estimulada todavía no ha vuelto a su condición inicial. Dicha neurona está cansada, es decir no podría aceptar inmediatamente una estimulación producida por otro impulso y responder en la forma habitual.

Desde un punto de vista económico, es mucho más interesante establecer como medida de velocidad, el tiempo necesario para que una estimulación capaz de inducir una respuesta típica pueda ser seguida por otra estimulación que produzca también una respuesta típica. Esta dura-

ción es del orden de $1,5 \times 10^{-2}$ segundos. Tales datos muestran claramente que sólo es necesario en uno o dos por ciento de este tiempo para la estimulación transináptica real, mientras que el resto representa el tiempo de recuperación, durante el cual la neurona regresa a su condición normal previa al estímulo, a partir del estado de cansancio subsiguiente a la estimulación. Debe señalarse que esta recuperación a partir del cansancio se produce gradualmente y apenas transcurrido un tiempo breve (del orden de unos $0,5 \times 10^{-2}$ segundos) la neurona puede responder a una forma atípica, dando lugar a un impulso típico siempre que el estímulo sea significativamente más fuerte que el necesario en condiciones típicas. Este hecho tiene un amplio significado.

Por tanto, el tiempo de reacción de una neurona está comprendida, dependiendo de cómo se le defina, entre 10^{-4} y 10^{-2} segundos, pero la definición más significativa lo aproxima más a la segunda cifra. Comparado con esto, los transistores pueden ser usados en grandes máquinas lógicas con tiempos de reacción comprendido entre 10^{-6} y 10^{-7} segundos —desde luego estoy contabilizando aquí el tiempo completo de recuperación; el órgano en cuestión queda, después de este tiempo, en su condición inicial, previa al estímulo. Ello quiere decir que nuestros instrumentos artificiales, desde este punto de vista, están por delante de sus homólogos naturales en proporción de 10^4 a 10^5 .

Con respecto al tamaño, la cuestión es muy diferente. Hay varias maneras de evaluar el tamaño, la cuestión es muy diferente, y es mejor considerarlas una por una.

EL TAMAÑO DE LA NEURONA: COMPARACIONES CON LOS COMPONENTES ARTIFICIALES

El tamaño lineal de una neurona varía mucho de una célula nerviosa a otra, puesto que algunas de estas células están contenidas en grandes conglomerados estrechamente integrados, y tienen por ello axones muy cortos, mientras que otras conducen impulsos entre partes del cuerpo más bien alejadas y pueden, por tanto, tener extensiones lineales comparables a las de la totalidad del cuerpo humano. Una manera de obtener

una comparación significativa y desprovista de ambigüedades es comparar la parte lógicamente activa de la célula nerviosa con la de un transistor. En el caso de la neurona, se trata de membrana celular, cuyo espesor oscila, como ya mencionamos antes, en torno a los 10^{-5} cm. En el caso del transistor, la distancia entre los llamados electrodos de escobilla (los electrodos n ohmicos, el emisor y el electrodo de control), triplicada aproximadamente para tener en cuenta el entorno activo inmediato de esos subcomponentes, representa algo menos de 10^{-2} cm. Así, con respecto a la dimensión lineal, los componentes naturales parecen superar a los artificiales en un factor del orden de 10^{-3} .

También es posible establecer una comparación con respecto al volumen. El sistema nervioso central ocupa un espacio aproximado de un litro (en el cerebro), esto es 10^3 cm³. El número de neuronas contenido en este sistema es aproximadamente del orden de 10^{10} o algo mayor. Ello representa un volumen de 10^{-7} cm³ por neurona. La densidad con la que pueden empaquetarse los transistores también pueden estimarse, aunque no con precisión. Parece claro que esta densidad de empaquetamiento es (en ambas partes de la comparación) una medida de eficiencia más fiable que la referida o al volumen real de un componente individual. Con las técnicas actuales, los grupos de unos pocos miles de tubos de vacío ocuparían ciertamente varias decenas de pies cúbicos. Para los transistores pueden contenerse la misma cantidad en volúmenes del orden de uno o unos pocos pies cúbicos. Utilizando estas últimas cifras como una medida actualmente mínima, se obtienen cifras en torno a 10^5 cm³. Para unos pocos miles de órganos activos, es decir, alrededor de 10 a 10^2 cm³ por órgano. Así pues, los componentes naturales aventajan a los artificiales con respecto a los requerimientos en volumen, en 10^8 o 10^9 . Comparándolo con las estimaciones para la dimensión lineal probablemente es mejor equiparar la dimensión lineal con la raíz cúbica del factor volumen. La raíz cúbica de 10^8 o 10^9 está comprendida entre 10^3 y $0,5 \times 10^3$, lo cual concuerda con el factor 10^3 al que se llegó a través de un método directo.

Disipación de energía. Comparaciones con los componentes artificiales

Finalmente, podemos hacer una comparación con respecto al consumo de energía. Un órgano activo lógico no realiza, por su propia naturaleza ningún trabajo: el impulso que produce no necesita tener más energía que la fracción de los impulsos que lo estimularon, y en cualquier caso no hay ninguna relación intrínseca y necesaria entre estas energías.

Consecuentemente, la energía implicada se disipa casi completamente y se convierte en calor sin realizar un trabajo mecánico relevante. Así, la energía consumida es realmente energía disipada y, por tanto, podemos hablar de disipación de energía de tales órganos.

La disipación de energía en el sistema nervioso humano central (en el cerebro) es del orden de 10 vatios. Puesto que como fue indicado anteriormente, en ello están implicadas unas 10^{10} neuronas, esto significa una disipación de 10^{-9} vatios por neurona. La disipación típica de un tubo de vacío es de un orden de 5 a 10 vatios.

La disipación típica de un transistor puede ser tan pequeña como 10^{-1} vatios.

Así, los componentes naturales aventajan a los artificiales con respecto a la disipación, en factores de 10^8 a 10^9 a favor de los componentes naturales frente a los artificiales. A este factor se llega elevando al cubo la comparación lineal, comparando volúmenes y comparando la disipación de energía. Frente a esto hay un factor de orden de 10^4 a 10^5 en velocidad a favor de los componentes artificiales en relación con los naturales.

En estas evaluaciones cuantitativas pueden basarse determinadas conclusiones. Desde luego hay que recordar que el análisis es todavía muy superficial, de forma que las conclusiones a las que se ha llegado hasta ahora están plenamente sujetas a revisión a la luz de futuros avances. Sin embargo, parece interesante formular las siguientes conclusiones.

En primer lugar, en términos del número de acciones que pueden ser realizadas por órganos activos de la misma dimensión total (definida por volumen o disipación de energía), en el mismo intervalo, los componentes naturales aventajan a los artificiales en un factor de 10^4 . Este es el cociente de los dos factores obtenidos anteriormente, esto es de 10^8 a 10^9 y de 10^4 a 10^5 .

En segundo lugar, los mismos factores muestran que los componentes naturales favorecen a autómatas con mayor número de órganos más lentos, mientras que los artificiales favorecen a disposición contraria de un número menor de órganos más rápidos. De aquí puede esperarse que un autómata de grandes dimensiones y eficientemente organizado (como el sistema nervioso humano) tenderá a integrar simultáneamente tantos elementos lógicos (o de información) como sea posible y a procesarlos simultáneamente, mientras un autómata artificial de grandes dimensiones y eficientemente organizado (como un gran ordenador moderno) tenderá a hacer las cosas sucesivamente, cada una a su tiempo, o en cualquier caso, no tantas cosas al mismo tiempo. Esto es, los grandes y eficientes autómatas naturales tenderán a ser altamente paralelos, mientras que los grandes y eficientes autómatas artificiales tenderán a ser lo menos, y más bien a trabajar en serie (refiriéndose a algunas observaciones previas relativas a disposiciones paralelas y en serie).

En tercer lugar, debe observarse, no obstante, que operaciones en serie y en paralelo no son sustituibles unas por otras sin restricción, como se requeriría para hacer completamente válida la primera observación, en un simple esquema de dividir el factor de ventaja en dimensión por el factor de desventaja en velocidad para obtener una simple medida de excelencia.

Más concretamente, no todo lo serial puede ser inmediatamente paralelizado, ciertas operaciones pueden solamente ser realizadas después

de otras, y no simultáneamente con ellas (esto es, deben utilizar los resultados de las previas). En tales casos, la transición desde un esquema serial a uno en paralelo puede ser imposible, o puede ser posible pero sólo concurrentemente con un cambio en el enfoque y organización lógica del procedimiento. Recíprocamente, el convertir a esquemas en serie un procedimiento en paralelo puede imponer nuevos requerimientos al autómata. Concretamente, aparecerán casi siempre nuevas necesidades de memoria, puesto que los resultados de las operaciones que se efectúan en primer lugar debe almacenarse mientras se realizan las operaciones posteriores. De aquí que la estructura y el enfoque lógico de los autómatas naturales pueda diferir ampliamente de la de los autómatas artificiales.

Asimismo, es probable que los requerimientos en memoria de los últimos resulten ser sistemáticamente más importantes que los de los primeros.

Todos estos puntos de vistas reaparecerán en las siguientes discusiones.

Criterios de estimulación

LOS ÓRGANOS LÓGICOS ELEMENTALES MÁS SIMPLES

Puedo ahora volver al análisis de las idealizaciones y simplificaciones contenidas en la descripción precedente de la acción del nervio. Como se indicó anteriormente, el output normal de una neurona es el impulso nervioso típico. Este puede ser inducido por distintas formas de estimulación, incluyendo entre ellas la llegada de uno o más impulsos desde otras neuronas. Otros posibles estimuladores son los fenómenos del mundo exterior a los cuales es específicamente sensible una neurona determinada (luz, sonido, presión, temperatura), y cambios físicos y químicos internos del organismo en el punto donde se sitúa la neurona.

Empezaré por considerar la forma de estimulación mencionada; en primer lugar, la producida por otros impulsos nerviosos.

He señalado antes que este mecanismo particular, la estimulación de impulsos nerviosos con combinaciones adecuadas de otros impulsos nerviosos, hace que la neurona sea comparable a los órganos activos digitales típicos. Desarrollando más esta cuestión, si una neurona es contactada (a través de sinapsis) por los axones de otras dos neuronas, y si su requerimiento mínimo de estimulación (para producir un impulso-respuesta) es el de la recepción de dos impulsos simultáneos, entonces esta neurona aparece de hecho como un órgano y en el sentido de que realiza la operación lógica de conjunción (verbalizada por y), puesto que responde, únicamente, cuando ambos estimuladores están activos simultáneamente.

amente. Si, por otra parte, el requerimiento mínimo es simplemente la llegada (por lo menos) de un impulso, la neurona actúa como un órgano del tipo o, es decir, realiza la operación lógica disyunción (verbalizada por o), puesto que responde cuando está activo cualquiera de sus estimuladores. Y e o son las operaciones lógicas elementales. Junto con no (la operación lógica de negación) constituyen un conjunto complejo de operaciones lógicas básicas (todas las otras operaciones lógicas, independientemente de cuál sea su complejidad, puede obtenerse mediante combinaciones adecuadas de éstas). No analizaré aquí cómo las neuronas pueden también simular la operación no, o mediante qué trucos puede evitarse completamente el uso de esta operación. Lo arriba indicado debería bastar para dejar claro lo que ya se ha subrayado anteriormente: que las neuronas aparecen, cuando así se las considera, como los órganos lógicos básicos y, por tanto, también como los órganos digitales básicos.

CRITERIOS DE ESTIMULACIÓN MÁS COMPLEJOS

Esto, sin embargo, es una simplificación e idealización de la realidad. Las neuronas reales no están, por regla general, organizadas de forma tan simple con respecto a su posición en el sistema.

Algunas neuronas tienen, desde luego, solamente una o dos, y en todo caso, un número reducido fácilmente numerable, sinapsis de otras neuronas en su cuerpo. Sin embargo, la situación más frecuente es que el cuerpo de una neurona tenga sinapsis con axones de otras muchas neuronas. Ocurre incluso que, ocasionalmente, varios axones de una neurona formen sinapsis en otra. De esta forma, los posibles estimuladores tienen definiciones más complicadas que los sencillos esquemas y e o descritos anteriormente. Si hay mucha sinapsis en una célula nerviosa, la regla más simple de comportamiento para ésta será el responder solamente cuando reciba, como mínimo, un cierto número de impulsos simultáneo. Sin embargo, resulta razonable suponer que el fenómeno pueda, en realidad, ser incluso más complicado que esto. Puede ocurrir que ciertas combinaciones de impulsos nerviosos estimulen una determinada neurona, no simplemente en virtud de su número si no también en

virtud de las relaciones espaciales de las sinapsis a las que llegan. Esto es, uno puede tener que hacer frente a situaciones en las cuales hay, digamos por ejemplo, cientos de sinapsis en una misma célula nerviosa, y las combinaciones de estimulaciones que son afectivas (que generan un impulso de respuesta en la neurona mencionada últimamente) están caracterizadas, no solamente por su número, sino también por su localización en ciertas regiones especiales de esta neurona (en su cuerpo o en su sistema de dendritas), por las relaciones espaciales de tales regiones entre sí, e incluso por relaciones geométricas y cuantitativas más complicadas.

EL UMBRAL

Si el criterio de efectividad es el más simple de los mencionados, es decir, la presencia simultánea de un número mínimo de estimulantes, a este nivel mínimo de estimulación se le denomina umbral de la neurona en cuestión. Es habitual hablar de la estimulación requerida por una neurona en términos de este criterio, es decir de su umbral. Debe recordarse, sin embargo, que no está en absoluto establecido que la estimulación requerida tenga este carácter tan simple; puede adoptar la forma de relaciones mucho más complejas que el mero alcance de un umbral (es decir, de un número mínimo de estimulaciones simultáneas), como analizamos anteriormente.

EL TIEMPO DE ACUMULACIÓN

Aparte de éstas, las propiedades de una neurona pueden mostrar otras complejidades que no están descritas por las simples relaciones estímulo-respuesta en términos de impulsos nerviosos típicos.

Así, cada vez que se ha mencionado la simultaneidad, ello no puede significar una simultaneidad exacta. En cada caso existe un período finito de tolerancia, un tiempo de acumulación tal que dos impulsos que lleguen dentro de tal período de tiempo actúan todavía como si hubieran

sido simultáneos. Pero la realidad puede ser incluso más complicada que esto, el tiempo de acumulación puede no ser un concepto bien definido. Incluso después de un período de tiempo ligeramente superior, el impulso previo puede todavía sumarse al siguiente en una forma parcial y gradualmente decreciente; secuencias de impulsos más alejados todavía (dentro de ciertos límites) del tiempo de acumulación, pueden, en función de su longitud, tener un efecto mayor que el individual; varias superposiciones del fenómeno de fatiga y recuperación pueden poner a una neurona en situaciones anormales, de modo que las características de sus respuestas son diferentes de lo que son en condiciones típicas. Con respecto a todas estas cuestiones existen ciertos estudios y observaciones empíricas (más o menos incompletas) y todos indican que la neurona, individualmente considerada, puede ser, por lo menos en determinadas y deseables situaciones especiales, un mecanismo mucho más complicado que lo que la descripción dogmática en términos de estímulos y respuestas puede explicar siguiendo los simples esquemas de las operaciones lógicas elementales.

CRITERIOS DE ESTIMULACIÓN PARA RECEPTORES

En el presente y particular contexto, es preciso mencionar un número reducido de conceptos a cerca de la estimulación de las neuronas por factores distintos de los output (impulsos nerviosos) de otras neuronas. Como fue analizado previamente, tales factores son fenómenos del mundo exterior (esto es, sobre la superficie del organismo) a los cuales la neurona en cuestión es específicamente sensible (luz, sonido, presión, temperatura), así como cambios físicos y químicos en el interior del organismo en el punto donde la neurona está situada. Las neuronas cuya función organizativa es responder a la primera clase de estímulos se denominan comúnmente, receptores. Sin embargo, puede ser más apropiado denominar receptores a todas las neuronas que tiene la función organizativa de responder a los estímulos que no son impulsos nerviosos, y distinguir entre la primera y la segunda categoría de los mismos, calificándoles respectivamente de receptores externos o internos.

Con respecto a todos estos, aparece de nuevo la cuestión de un criterio de estimulación —de un criterio que defina bajo qué condiciones se producirá la estimulación de un impulso nervioso.

El criterio de estimulación más simple es el que pueda enunciarse en términos de umbral, como en el caso previamente considerado de la estimulación de una neurona por impulsos nerviosos. Esto significa que el criterio de efectividad de la estimulación puede ser enunciado en términos de una intensidad mínima de un agente estimulante, es decir, una intensidad mínima de iluminación, de energía sónica contenida en un cierto intervalo de frecuencia, de sobreexpresión, de aumento de la temperatura, respectivamente, en el caso de un receptor externo; o un cambio mínimo en el valor de parámetro físico relevante, en el caso de un receptor interno.

Debe observarse, sin embargo, que el criterio de estimulación del tipo umbral no es el único posible. Así en el caso óptico, resulta que muchas de las neuronas involucradas responden a un cambio de iluminación (en algunos casos al paso de la luz o la oscuridad, en otros casos al contrario), más que a niveles determinados de iluminación. Podría ocurrir que éstas no fuesen las reacciones de una simple neurona sino de la resultante de un sistema neuronal más complejo. No entraremos aquí en el análisis de esta cuestión. Basta observar que también en el caso de los receptores, la evidencia disponible tiende a indicar que el criterio de estimulación del tiempo umbral no es el único usado en el sistema nervioso.

Permítaseme, entonces, repetir el ejemplo típico arriba mencionado. Es bien conocido que el nervio óptico, ciertas fibras no responden a un determinado nivel (mínimo) de iluminación, sino solamente a cambios en este nivel, por ejemplo, en ciertas fibras es el paso de la oscuridad a la luz, en otras, es el paso de la luz a la oscuridad lo que causa la respuesta. En otras palabras, es el aumento o disminución en el nivel en cuestión, es decir el valor de su derivada y no su propio valor, lo que constituye el criterio de estimulación.

Resultaría adecuado exponer ahora algunas ideas acerca del papel jugado por estas «complejidades» del sistema nervioso en su estructura funcional y su funcionamiento. Por una parte, es posible concebir que estas complejidades no jueguen en absoluto un papel funcional útil. Es,

sin embargo, más interesante indicar que puede concebirse que lo jueguen y exponer algunos elementos acerca de estas posibilidades.

Es lícito suponer que en el sistema nervioso, organizado esencialmente de forma digital, las complejidades a las que nos hemos referido tengan un papel analógico o, por lo menos, «mixto». Ha sido sugerido que, mediante tales mecanismos, efectos eléctricos más recónditos y generales puedan influenciar el funcionamiento del sistema nervioso. Puede ser que de esta forma ciertos potenciales eléctricos generales jueguen un papel importante y que el sistema responda a soluciones de problemas teóricos de potencial de manera global, problemas que son inmediatos y elementales que los que se describen, normalmente, mediante el criterio digital, el criterio de estimulación, etc. Puesto que el carácter del sistema nervioso es probablemente y a pesar de todo digital, tales efectos, de existir, interaccionarían probablemente con los efectos digitales, es decir, dando lugar a un problema de «sistema mixto» más que genuinamente analógico. Especulaciones en estas direcciones han sido desarrolladas por varios autores; y es lectura pertinente referirse a la literatura general en lo que a ellos respecta. No entraré aquí en un análisis más profundo de los mismos en términos específicos.

Debe decirse, sin embargo, que todas las complicaciones de este tipo significan, en términos de la relación de los órganos activos básicos que hemos desarrollado hasta ahora, que una célula nerviosa es más que un simple órgano activo básico, y que cualquier esfuerzo significativo para desentrañar sus relaciones tiene que reconocerlo así. Obviamente, incluso los criterios de estimulación más complicados tienen ese efecto. Si la célula nerviosa es activada por la estimulación de ciertas combinaciones de sinapsis en su cuerpo y con por otras, la relación significativa de órganos activos básicos debe, presumiblemente, ser una enumeración de sinapsis más que de células nerviosas. Si la situación se complica de forma adicional por la aparición de los fenómenos «mixtos» a los que nos hemos referido arriba, estas relaciones son más difíciles aún. Simplemente, la necesidad de reemplazar la relación de células nerviosas por una relación de sinapsis, puede aumentar el número de órganos activos básicos en un factor considerable, del orden de 10 o 100. Esta y similares circunstancias deben ser permanentemente tomadas en cuenta en re-

lación con la contabilización de los órganos activos básicos a la que nos hemos referido hasta ahora.

Así todas las complejidades a las que nos hemos referido aquí pueden ser irrelevantes, pero pueden también dar al sistema un carácter analógico parcial, o un carácter «mixto». En cualquier caso, aumenta el número de órganos activos básicos, si este número debe ser calculado con un criterio significativo. Este incremento puede ser de un orden comprendido entre 10 y 100.

El problema de la memoria en el sistema nervioso

El análisis hasta este punto no ha tomado en consideración un componente cuya presencia en el sistema nervioso es altamente plausible, si no cierta —aunque no fuera otra razón que la de haber jugado un papel vital en todas las máquinas artificiales de cálculo construidas hasta la fecha— y su significación es, por ello, probablemente una cuestión de principio más que accidental. Me refiero a la memoria. Por ello, voy a volver ahora al análisis de este componente, o más bien subconjunto, del sistema nervioso.

Como he indicado arriba, la presencia de una memoria (o, probablemente, de varias memorias) en el sistema nervioso es una cuestión de hipótesis o postulado, sugerida y confirmada por toda nuestra experiencia con los instrumentos artificiales de cálculo. Ello equivale a admitir, desde el principio, que todos los pronunciamientos acerca de la naturaleza, estructura y localización de este subconjunto, o subconjuntos, son igualmente hipotéticos. No sabemos en qué parte del sistema nervioso, considerado como una entidad física, reside la memoria; no sabemos si es un órgano separado o una colección de partes específicas de otros órganos ya conocidos, etc. Pudiera ser que residiese en un sistema de nervios específico, que tendría entonces que ser un sistema considerablemente grande. Pudiera ser que estuviese relacionado con los mecanismos genéticos. Somos tan ignorantes de su naturaleza y posición como lo eran los griegos, quienes sospechaban que el intelecto se alojaba en el diafragma. Lo único que sabemos es que debe ser una memoria de capa-

cidad grande, y que sería difícil comprender como un autómata complejo como el sistema nervioso pudiera funcionar sin ella

PRINCIPIOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE MEMORIA EN EL SISTEMA NERVIOSO

Permítaseme exponer ahora algunas ideas acerca de la probable capacidad de esta memoria.

En los autómatas artificiales como las máquinas de calcular existen métodos habituales, ampliamente aceptados, de definir la «capacidad» de una memoria, por lo que parece razonable extenderlo también al sistema nervioso. Una memoria puede retener una cierta cantidad máxima de información, y la información puede siempre convertirse en una agregación de dígitos binarios o bits. Así, a una memoria que puede almacenar un millar de números decimales de ocho cifras, se le debería asignar una capacidad de $1.000 \times 8 \times 3,32$ bits, puesto que un dígito decimal es el equivalente de aproximadamente $\log_2 10 = 3,32$ bits —las razones de este método de contabilización han sido establecidas en los trabajos, ya clásicos, sobre la teoría de la información de G. E. Shannon y AA.VV. Es evidente que 3 dígitos decimales deben ser los equivalentes de alrededor de 10 bits, puesto que $2^{10} = 1.024$ es, aproximadamente, igual a $10^3 = 1.000$ (de esta manera, un dígito decimal corresponde, aproximadamente, a $10/3 = 3,33$ bits). Por un argumento similar, la capacidad de información representada por una letra del alfabeto impreso o escrito a máquina —cada una de tales letras representado $2 \times 26 \times 35 = 88$ alternativas (2 representando la posibilidad de ser mayúscula o minúscula, 26 representando el número de letras del alfabeto y 35 el número habitual de signos de puntuación, símbolos numéricos e intervalos que también son, desde luego, relevantes en este contexto)—, tiene que ser evaluada como $\log_2 88 = 6,45$. Por ello, por ejemplo, una memoria que pueda almacenar un millar de tales letras tiene una capacidad de $6.450 = 6,45 \times 10^3$ bits. En el mismo orden de ideas, capacidades de memoria correspondientes a formas de información más complicadas, como formas geométricas (desde luego, dadas con un determinado grado de precisión y re-

solución), tonalidades de color (con los mismos presupuestos anteriores), etcétera; puede también expresarse en términos de unidades estándar, es decir, bits. A memorias que contienen combinaciones de todo esto puede entonces atribuírseles capacidades resultantes de las calculadas de acuerdo con los anteriores principios por adición.

ESTIMACIONES DE LA CAPACIDAD DE MEMORIA CON ESTAS ESTIPULACIONES

La capacidad de memoria requerida por una moderna máquina de calcular es normalmente del orden de 10^5 a 10^6 bits. Las capacidades de memoria supuestas como necesarias para el funcionamiento del sistema nervioso parecían deber ser mucho mayores, puesto que el sistema nervioso como tal es, como se mostró con anterioridad, un autómata considerablemente mayor que los autómatas artificiales (por ejemplo, las máquinas de calcular que conocemos). Es difícil decir en cuanto debe superar dicha supuesta capacidad de memoria de cifra antes indicada de 10^5 a 10^6 . Sin embargo, es posible llegar a establecer por aproximación ciertas estimaciones orientativas.

Así, el receptor medio parece poder aceptar alrededor de 14 impresiones digitales distintas por segundos, lo que equivale al mismo número de bits. Considerando 10^{10} células nerviosas y suponiendo que cada una de ellas es, esencialmente, y bajo condiciones adecuadas, un receptor (interior o exterior) resulta un input de 14×10^{10} bits. Con la hipótesis adicional (de la que hay alguna evidencia) de que el sistema nervioso no llega a olvidar nada por completo —es decir, que las impresiones, una vez recibidas, pueden ser retiradas del área importante de la actividad nerviosa, es decir, del centro de atención, pero no borradas completamente— puede hacerse una estimación para el conjunto de una vida humana media. Suponiendo que esta sea de 60 años, aproximadamente igual a 2×10^9 segundos, el input sobre la duración de esta vida requeriría, con las estipulaciones anteriores, una capacidad de memoria total del orden de $14 \times 10^{10} \times 2 \times 10^9 = 2,2 \times 10^{20}$ bits. Esta cifra es superior a la de 10^5 o 10^6 que hemos reconocido como típicamente válida para una

moderna máquina de calcular no es significativamente superior a las diferencias por exceso que ya hemos observado antes para el número de los respectivos órganos activos básicos.

VARIAS FORMAS POSIBLES DE LA ESTRUCTURA FÍSICA DE LA MEMORIA

Subsiste el problema de la constitución física de esta memoria para el cual distintos autores han sugerido una variedad de soluciones. Se ha propuesto suponer que los umbrales (o, de forma más amplia, los criterios de estimulación), de varias células nerviosas cambian con el tiempo en función de la historia previa de esta célula. Así, el uso frecuente de una célula nerviosa puede disminuir su umbral, es decir, disminuir los requerimientos de su estimulación, y viceversa. Si esto fuese cierto, la memoria residiría en la variabilidad del criterio de estimulación. Todo esto es posible pero no voy a intentar analizarlo aquí.

Una formulación todavía más drástica de la misma idea se obtiene suponiendo que las mismas conexiones de las células nerviosas, es decir, la distribución de los axones conductores, varían con el tiempo. Esto significaría la posibilidad de la siguiente situación. Es concebible que la falta de uso de un axón pueda hacerlo inactivo para un uso posterior. Por otra parte, un uso muy frecuente (mayor que el normal) puede dar a la conexión que representa un umbral más bajo (un criterio de estimulación facilitado) para este camino específico. En este caso, de nuevo, ciertas partes del sistema nervioso serían variables con el tiempo y con su historia previa y, así, representarían una memoria en y por sí mismas.

Otra forma de memoria que está obviamente presente es la parte genética del cuerpo: los cromosomas y sus genes constituyentes son claramente elementos de memoria que por su estado afectan, y hasta un cierto punto determinan, el funcionamiento del sistema en su conjunto. Así, hay también la posibilidad de un sistema genético de memoria.

Hay todavía otras formas de memoria, algunas de las cuales tienen una plausibilidad digna de consideración. Así, algunos rasgos de la composición química de ciertas áreas del cuerpo pueden ser autogenerantes y por ello constituir también posibles elementos de memoria. Se deben

considerar, entonces, tales tipos de memoria si se consideraban el sistema genético de memoria, puesto que las propiedades autogenerantes residentes en los genes pueden localizarse también fuera de los genes, en las restantes porciones de la célula.

No voy a entrar en todas estas posibilidades y muchas otras que pueden considerarse con una plausibilidad igual (o, en algunos casos, mayor). Me gustaría limitarme aquí a la observación de que, incluso, sin localizar la memoria en conjuntos específicos de células nerviosas, se ha sugerido una amplia variedad de estructuras físicas con grados distintos de plausibilidad.

ANALOGÍAS CON LAS MÁQUINAS DE CALCULAR ARTIFICIALES

Finalmente, me gustaría mencionar que hay sistemas de células nerviosas, que se estimulan entre sí de distintas formas, que también constituyen memorias. Serían memorias configuradas por elementos activos (células nerviosas). En la tecnología de nuestras máquinas de calcular tales memorias se usan de forma frecuente y significativa, en realidad, éstas fueron las primeras en ser introducidas. En máquinas de tubos de vacío, este tipo está representado por los *flip-flops* que están mutuamente controlándose. La tecnología de los transistores, así como prácticamente cualquier otra forma de tecnología electrónica de alta velocidad, permite, y desde luego induce el uso de subconjuntos de tipo *flip-flop*, y estos pueden usarse como elementos de memoria en la misma forma que lo fueron los *flips-flops*, en las primeras máquinas de calcular con tubos de vacío.

Los elementos componentes subyacentes de la memoria no precisan ser los mismos que los de los órganos activos

Debe observarse, sin embargo, que es *a priori* poco probable que el sistema nervioso deba utilizar tales instrumentos como los medios principales para sus requerimientos de memoria; tales memorias, más característicamente designadas como «memorias constituidas por órganos básicos», son, desde cualquier punto de vista, extremadamente costosas. La tecnología de las modernas máquinas de calcular empezó con tales dispositivos (así, la primera gran máquina de calcular con tubos de vacío, el ordenador ENIAC, utilizaba exclusivamente *flip-flop* para su memoria primaria (es decir, la más rápida y más directamente disponible). Sin embargo, el ENIAC era de gran tamaño (22.000 tubos de vacío) y tenía una memoria primaria muy pequeña de acuerdo con los estándares actuales (consistía en unas cuantas docenas de números decimales de diez cifras). Obsérvese que ello equivale a algo, así como unos pocos centenares de bits, menos, desde luego, que 10^3 . En los actuales ordenadores el equilibrio adecuado entre tamaño de la máquina y su capacidad de memoria se considera que oscila alrededor de los 10^4 elementos activos básicos, y una capacidad de memoria de 10^5 a 10^6 bits. Ello se alcanza utilizando formas de memorias que son, desde una perspectiva tecnológica, muy distintas de los órganos activos básicos de la máquina. Así, una máquina de tubos de vacío o transistores puede tener una memoria que resida en un sistema electrostático (un tubo de rayos catódicos), o en grandes conjuntos de núcleos ferromagnéticos convenientemente dispuestos, etc. No voy a intentar elaborar aquí una clasificación completa,

puesto que otras formas importantes de memoria, como las del tipo de retraso acústico, el tipo ferroeléctrico, y el tipo de retraso magnetoestrictivo (lista que podría, desde luego, aumentarse), no encajan tan fácilmente en tales clasificaciones. Quiero, solamente, señalar que los componentes usados en la memoria pueden ser completamente diferentes de los que constituyen el fundamento de los órganos activos básicos.

Estos aspectos de la cuestión parecen ser muy importantes para la comprensión de la estructura del sistema nervioso, y no parecen estar todavía lo suficientemente explicados. Conocemos el órgano activo básico del sistema nervioso (la célula nerviosa). Todo induce a creer que una memoria de gran capacidad está asociada con dicho sistema. Pero hay que reconocer con la mayor franqueza que no sabemos qué tipo de elementos físicos son los componentes básicos para dicha memoria.

PARTES ANALÓGICAS Y DIGITALES EN EL SISTEMA NERVIOSO

Habiendo indicado en el apartado anterior, los profundos, fundamentales y amplios problemas conectados con el componente memoria del sistema nervioso, parecería más adecuado avanzar hacia otros temas. Sin embargo, hay un aspecto adicional, aunque secundario, de la estructura de la memoria en el sistema nervioso acerca del cual deben exponerse algunas ideas, referidas a las relaciones entre sus partes analógicas y digitales (o «mixtas»). A continuación haré un análisis adicional breve e incompleto, después del cual voy a entrar en cuestiones no relacionadas con la memoria.

La observación que deseo hacer es la siguiente: los procesos que se desarrollan en el sistema nervioso pueden, como he indicado anteriormente, cambiar su carácter de digital a analógico volviendo de nuevo al digital, etc., repetidamente. Los impulsos nerviosos, es decir, la parte digital del mecanismo, puede controlar una fase particular de uno de tales procesos, por ejemplo, la contracción de un músculo específico o la secreción de un producto químico determinado. Este fenómeno es del tipo analógico, pero puede ser el origen de un tren de impulsos nerviosos que son debidos a la sensibilidad de unos receptores internos ade-

cuados. Cuando están generándose tales impulsos nerviosos, estamos de nuevo en la línea de progresión digital. Como fue mencionado previamente, tales cambios desde un proceso digital a uno analógico, y vuelta de nuevo a uno digital, pueden alternarse varias veces. Así, el impulso nervioso del sistema, que es digital, junto con los cambios químicos o dislocaciones mecánicas debidas a contracciones musculares, que son de tipo analógico, pueden, alternando uno con otro, dar un carácter mixto a cualquier proceso.

PAPEL DEL MECANISMO GENÉTICO EN EL CONTEXTO ANTERIOR

Ahora bien, en este contexto, el fenómeno genético juega un papel especialmente típico. Los propios genes son, claramente, partes de un sistema digital de componentes. Sus efectos, sin embargo, consisten en la estimulación de la formación de productos químicos específicos, determinados enzimas, que son característicos del gen implicado y, por tanto, son del tipo analógico. Así, en este terreno, aparece un ejemplo particular, específico de la alternancia entre analógico y digital, es decir, un elemento de una clase más amplia, a la que, como tal me he referido antes de una forma más general.

Los códigos y su papel en el control del funcionamiento de una máquina

Referente a otros aspectos distintos a los de la memoria, sigamos, concretamente, con ciertos principios de organización de órdenes lógicas que son de considerable importancia en el funcionamiento de cualquier autómata complejo.

En primer lugar, permítaseme introducir un término que es necesario en el presente contexto. Un sistema de instrucciones lógicas que puede llevar a cabo un autómata y que le permite realizar algunas tareas organizadas, se denomina código. Por órdenes lógicas, entiendo elementos como los impulsos nerviosos que aparecen en los axones a un sistema digital lógico, como el sistema nervioso, a funcionar en una forma «replicable y teleológica».

EL CONCEPTO DE CÓDIGO COMPLETO

Ya que estamos hablando de códigos, resulta especialmente importante la siguiente distinción. Un código puede ser completo, para usar la terminología de los impulsos nerviosos, se pueden especificar la secuencia de los impulsos y los axones en que aparecen. Esto definirá completamente un comportamiento específico del sistema nervioso, o, según la anterior comparación, de los correspondientes autómatas artificiales. En las máquinas de calcular, tales códigos completos son conjuntos de órdenes, dados con todas las especificaciones necesarias. Si la máquina

debe resolver mediante el cálculo un problema específico, tendrá que ser controlada por un código completo en el sentido expuesto. El uso de las modernas máquinas de calcular está basado en la habilidad del técnico para desarrollar y formular los necesarios códigos completos para cualquier problema que la máquina pueda resolver.

EL CONCEPTO DE CÓDIGO REDUCIDO

En contraste con los códigos completos, existe otra categoría de códigos denominados códigos «cortos» o reducidos, basados en la siguiente idea:

El profesor inglés de lógica A. M. Turing demostró en 1937 (y varios expertos en máquinas de calcular lo han puesto en práctica desde entonces en distintas formas) que es posible desarrollar sistemas de códigos de instrucciones para una máquina de calcular, capaces de lograr que ésta se comporte como si fuera otra máquina específica. Tales sistemas de instrucciones que hacen que una máquina imite el comportamiento de otra, se denominan códigos reducidos. Permítaseme entrar con un poco más de detalle en la cuestiones típicas del uso y desarrollo de tales códigos reducidos.

Una máquina de calcular está controlada, como indiqué anteriormente, por códigos, secuencias de símbolos (normalmente símbolos binarios) esto es, por cadenas de bits. En cualquier conjunto de instrucciones que gobiernen el uso de una máquina de calcular debe dejarse claro qué cadenas de bits son órdenes y cuál es el resultado que mediante ellas se obtendrá de la máquina.

Estas cadenas «significativas» de bits no tiene por qué ser las mismas para dos máquinas diferentes, y en cualquier caso, sus respectivos efectos sobre la parte operativa de las máquinas correspondientes bien pueden ser enteramente distintos. Así, si se facilita a una máquina un conjunto de órdenes que son peculiares de otra máquina, éstas carecerán presumiblemente de sentido, al menos en parte, esto es, cadenas de bits heterogéneos con respecto a la primera de las máquinas, harán que esta realice acciones que no forman parte del plan organizado para obtener la

solución de un problema: hablando en términos generales, no harán que dicha máquina se comporte acorde con la consecución de un propósito encaminado a la solución de un problema específico.

LA FUNCIÓN DEL CÓDIGO REDUCIDO

Un código que de acuerdo con el esquema de Turing, esté diseñado para hacer actuar a una máquina como si fuera otra máquina (es decir, imitar a ésta), debe realizar las siguientes acciones: contener, en términos inteligibles para la máquina, instrucciones (partes más detalladas del código) que hagan que ésta examine cada una de las órdenes que recibe y determine si dicha orden tiene la estructura apropiada de las órdenes de la segunda máquina; debe contener también, en términos del sistema de órdenes de la primera máquina, suficientes órdenes para hacer que la máquina desarrolle las acciones apropiadas que la segunda máquina hubiera adoptado bajo la influencia de la orden en cuestión.

La importancia de los resultados de Turing estriba en que permiten que una máquina imite el comportamiento de cualquier otra. La estructura de las órdenes puede ser completamente diferente de la que es característica de la primera máquina, que es la que está verdaderamente implicada. Así, la estructura de las órdenes a la que nos referimos puede tratar órdenes de mucha mayor complejidad que las que son características de la primera máquina: cada una de estas órdenes de la máquina secundaria puede significar la realización de varias operaciones por parte de la máquina mencionada en primer lugar. Puede incluir procesos complicados e iterativos, acciones múltiples de cualquier tipo; en términos generales, cualquier cosa que la primera máquina pueda hacer en un período de tiempo, bajo el control de todos los sistemas posibles de órdenes, puede ser realizada si solamente estuviesen implicadas acciones elementales (órdenes primitivas, básicas, simples).

La razón de denominar código reducido a tal código secundario es histórica: estos códigos reducidos fueron estudiados como una ayuda al desarrollo de códigos y resultaron del deseo de abreviar las tareas de codificación para máquinas cuyo propio sistema natural de órdenes era

largo, considerándolas como si fueran máquinas diferentes, con un sistema de órdenes más conveniente y desarrollado, lo cual permite una codificación más simple, menos circunstancial y más directa.

LA ESTRUCTURA LÓGICA DEL SISTEMA NERVIOSO

Llegados a este punto es mejor reorientar el análisis hacia otro conjunto de cuestiones. Éstas no están, como indiqué, en relación con los problemas de la memoria o con las cuestiones relativas a los códigos completos y reducidos que acabamos de considerar. Están relacionados con los papeles respectivos de la lógica y la aritmética en el funcionamiento de cualquier autómata complejo y, específicamente, del sistema nervioso.

IMPORTANCIA DE LOS PROCEDIMIENTOS NUMÉRICOS

La cuestión de considerable importancia a considerar aquí es la siguiente: cualquier autómata artificial que haya sido construido para la resolución de problemas planteados por el hombre y para el control de procesos complejos, posee una parte puramente lógica y una parte aritmética, es decir, una parte en la que los procesos aritméticos no juegan ningún papel y otra en la que estos son especialmente importantes. Es debido a que con nuestros hábitos de pensamiento y de comunicación, es muy difícil expresar una situación verdaderamente complicada sin recurrir a las fórmulas y los números.

Así, un autómata que deba controlar problemas de similares características —constancia de una temperatura, o de ciertas presiones, o de estados químicos en el cuerpo humano— precisará que estas tareas le sean definidas en términos de igualdades o desigualdades numéricas por el analista humano que las ejecute.

INTERACCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS NUMÉRICOS CON LA LÓGICA

Sin duda puede haber partes de esta tarea que pueden formularse sin referencia a las relaciones numéricas, es decir, en puros términos lógicos. Así, ciertos principios cualitativos que implican respuestas o no respuestas fisiológicas, pueden establecerse sin recurso a los números, simplemente estableciendo cualitativamente bajo qué combinaciones de circunstancias se producirán determinados acontecimientos y bajo cuáles no son deseables.

LAS RAZONES QUE INDUCEN A ESPERAR EXIGENCIAS DE PRECISIÓN ELEVADAS

Estas observaciones muestran que el sistema nervioso, cuando se le considera como un autómata, debe tener tanto una parte aritmética como una parte lógica y que las necesidades de aritmética son tan importantes como las de lógica. Esto significa que estamos de nuevo tratando con una máquina de calcular en el sentido estricto y que resulta apropiado un análisis en términos de los conceptos familiares en la teoría de las máquinas de calcular.

A la vista de esto se plantea la siguiente cuestión: ¿cuándo se considera el sistema nervioso como una máquina de calcular y con qué precisión debe esperarse que funcione la parte aritmética?

Esta cuestión es especialmente crucial por la siguiente razón: toda la experiencia con las máquinas de calcular indica que si tienen que desarrollar tareas aritméticas tan complicadas como las desarrolladas por el sistema nervioso deben proveerse de recursos para alcanzar niveles de precisión más bien elevados. La razón estriba en que los cálculos probablemente serán complejos y a lo largo de ellos no solamente se acumulen los errores, sino que los cometidos en las primeras fases del cálculo son amplificadas por las últimas partes de éste; por ello, se necesita una precisión considerablemente más alta de lo que la naturaleza física del problema parecería exigir.

Así, podemos suponer que la parte aritmética del sistema nervioso

existe y, cuando la consideramos como una máquina de calcular, debe operar con considerable precisión. En las máquinas de calcular artificiales que nos son familiares y bajo las condiciones de complejidad aquí implicadas, no sería una exageración considerar precisiones de 10 a 12 decimales.

Ha valido la pena llegar a esta conclusión, precisamente por tratarse de un hecho que nada tiene de evidente.

NATURALEZA NO DIGITAL, SINO ESTADÍSTICA DEL SISTEMA DE ANOTACIONES EMPLEADO

Como fue indicado antes, conocemos en parte cómo el sistema nervioso transmite datos numéricos. Lo hace mediante trenes de impulsos periódicos o casi periódicos. Un estímulo intenso sobre un receptor hará que éste responda poco después de haber rebasado el límite de refractoriedad absoluta. Un estímulo más débil hará que el receptor responda también en una forma periódica o casi periódica, pero con una frecuencia algo menor, puesto que ahora tendrá que rebasarse no solamente el límite de refractoriedad absoluta, sino incluso un límite de una cierta refractoriedad relativa, antes de que sean posibles cada una de las siguientes respuestas. Consecuentemente, las intensidades de impulsos cuantitativos se traducen en trenes de impulso periódicos o casi periódicos siendo siempre la frecuencia una función monótona de la intensidad de los estímulos. Se trata, pues, de alguna forma de un sistema de generación de señales de frecuencia modulada: las intensidades son traducidas a frecuencias.

Esto ha sido observado directamente en el caso de ciertas fibras del nervio óptico y también en nervios que transmiten la información relativa a presiones.

Es importante señalar que la frecuencia en cuestión no es directamente igual a ninguna intensidad de estímulos, sino que es más bien una función monótona de ésta. Esto permite la introducción de todo tipo de efectos de escala y expresiones de precisión en términos que dependen, convenientemente, de las escalas a las que estos estímulos ocurran.

Debe señalarse que las frecuencias están comprendidas normalmente entre 50 y 200 impulsos por segundo.

Está claro que bajo estas circunstancias, precisiones como las anteriormente mencionadas (de 10 a 12 decimales) están completamente fuera de cuestión. El sistema nervioso es una máquina de calcular que realiza sus complicadas tareas con un nivel de precisión más bien bajo: de acuerdo con lo anterior, solamente son posibles niveles de precisión del orden de 2 o 3 decimales. Este hecho debe resaltarse una y otra es porque ninguna de las máquinas de calcular conocidas puede operar fiable y significativamente con tal nivel de precisión.

Conviene señalar otro hecho. El sistema descrito conduce, no solamente a un bajo nivel de precisión, sino a un nivel de fiabilidad bastante alto. Desde luego, es claro que si en un sistema digital de notaciones falta un simple impulso, puede resultar una deformación absoluta de su significado. Por otra parte, es igual claro que si en un esquema del tipo descrito se pierde un simple impulso, o incluso varios, o estos están incluidos de una forma innecesaria o equivocada, la frecuencia relevante, es decir, el significado del mensaje, no se distorsiona de forma esencial.

Aparece ahora una cuestión que es crucial contestar: ¿cuáles son las inferencias esenciales acerca de la estructura aritmética y lógica de la máquina de calcular representadas por el sistema nervioso que pueden extraerse de estas observaciones en apariencia incongruentes?

DETERIORO ARITMÉTICO: PAPEL DE LA PROFUNDIDAD LÓGICA Y ARITMÉTICA

Para cualquiera que haya estudiado el deterioro de la precisión a lo largo de un extenso proceso de cálculo, la respuesta es clara. El deterioro es debido a la acumulación de errores por superposición e incluso a la amplificación de los errores cometidos previamente en el cálculo, esto es, debido al considerable número de operaciones aritméticas que tiene que ser realizadas en serie, o, en otras palabras, a la gran «profundidad aritmética» del esquema.

El hecho de que haya muchas operaciones a realizar en serie es,

desde luego, una característica tanto de la estructura lógica del esquema como de su estructura aritmética. Por ello, resulta correcto decir que todos estos fenómenos de pérdida de precisión son debidos a la gran «profundidad lógica» del esquema que aquí estamos analizando.

PRECISIÓN ARITMÉTICA O FIABILIDAD LÓGICA COMO ALTERNATIVAS

Debe también observarse que el sistema de mensaje usado en el sistema nervioso es de carácter esencialmente «estadístico». En otras palabras, lo que importa no son la posición precisa de marcadores definidos, o dígitos, sino las características estadísticas de su acontecer, es decir, las frecuencias de trenes de impulsos periódicos o casi periódicos, etc.

Así, el sistema nervioso parece utilizar un sistema de notaciones radicalmente diferente de aquél que nos resulta familiar en el campo de la aritmética y las matemáticas ordinarias: en vez del sistema preciso de marcadores donde la posición (y la presencia o ausencia) de cada marcador influye decisivamente en la determinación del significado del mensaje, tenemos aquí un sistema de notaciones en el cual el significado es transmitido por las propiedades estadísticas del mensaje. Hemos visto cómo esto conduce a un nivel más bajo de precisión aritmética, pero a un nivel mayor de fiabilidad lógica. Un deterioro aritmético ha sido compensado por una mejora en la lógica.

OTRAS CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DEL SISTEMA DE MENSAJES QUE PUEDEN SER UTILIZADAS

Este marco de referencia induce claramente a contestar a una cuestión más. Como vimos, las frecuencias de ciertos trenes de impulsos periódicos o casi periódicos, transportaban mensajes, es decir, información. Estas eran características estadísticas del mensaje. ¿Existen otras propiedades estadísticas que puedan contribuir de forma similar como medios de transmisión de la información?

Hasta ahora, la única propiedad del mensaje que ha sido utilizada para transmitir información es su frecuencia en términos de impulsos por segundo, en el sentido de que el mensaje era un tren de impulsos periódicos o casi periódicos.

Claramente podrían utilizarse otras características del mensaje (estadístico): desde luego, la frecuencia a la que nos hemos referido es una propiedad de un tren de impulsos simple, mientras que cada uno de los nervios relevantes consiste en un número elevado de fibras, cada una de las cuales transmite numerosos trenes de impulsos. Por ello, es perfectamente razonable suponer que ciertas relaciones de tipo estadístico) entre tales trenes de impulsos puedan también transmitir información. A este respecto es lógico pensar en distintos tipos de coeficientes de correlación.

El lenguaje del cerebro y no el lenguaje de las matemáticas

Avanzar más en este tema nos lleva necesariamente a cuestiones de lenguaje. Como hemos indicado, el sistema nervioso se basa en dos tipos de comunicaciones: aquellas que no implican formulaciones aritméticas y aquellas que sí lo hacen, es decir, comunicaciones de órdenes (de tipo lógico) y comunicaciones de números (de tipo aritmético). El primero puede ser descrito propiamente como un lenguaje, el segundo entra plenamente en el campo de las matemáticas.

Resulta obligado darse cuenta de que el lenguaje es, en gran medida, un accidente histórico. Los lenguajes humanos básicos no son transmitidos tradicionalmente de varias maneras, pero su gran variedad prueba que no hay en ellos nada absoluto y de necesario. Idiomas como el griego o el sánscrito son realidades históricas no necesidades lógicas. Por ello es razonable suponer que la lógica y las matemáticas son, tanto una como otra, formas históricas accidentales de expresión. Pueden tener variantes esenciales, es decir, pueden existir en formas distintas de aquellas a las que estamos acostumbrados. Desde luego, la naturaleza del sistema nervioso central y del sistema de mensajes que éste transmite indica positivamente que así es. Hemos acumulado ya evidencia suficiente para darnos cuenta de que cualquiera que sea el lenguaje que el sistema nervioso central utilice, éste se caracteriza por una profundidad lógica y aritmética menor de la que nos es habitual. Consideramos el siguiente ejemplo representativo de ello. La retina del ojo humano realiza una reorganización considerable de la imagen visual percibida por el ojo. Esa

reorganización es efectuada en la retina, o, más precisamente, en el punto de entrada del nervio óptico a través de tres sinapsis sucesivas, es decir, en términos de tres escalones lógicos consecutivos. El carácter estadístico del sistema de mensajes utilizado en la aritmética del sistema nervioso central y su baja precisión indica que la degeneración de la precisión no puede ir muy lejos en el correspondiente sistema de mensaje.

Consecuentemente con ello existen aquí estructuras lógicas diferentes de aquellas que utilizamos habitualmente en la lógica y las matemáticas. Como hemos indicado antes éstas están caracterizadas por una menor profundidad lógica y matemática de la que no es familiar en otras circunstancias similares. Así, la lógica y las matemáticas en el sistema nervioso central, cuando se las considera como lenguajes, deben ser estructuralmente distintas de aquellos lenguajes a los que se refiere nuestra experiencia corriente.

Debe señalarse que el lenguaje aquí implicado puede corresponder a un código reducido, en el sentido descrito, más que a un código completo: cuando nos expresamos matemáticamente, podemos estar analizando un lenguaje «secundario» construido mediante el lenguaje «primario» utilizado por el sistema nervioso central. Así, las formas externas de nuestras matemáticas, no son absolutamente relevantes para evaluar cuál es el lenguaje matemático o lógico utilizado por el sistema nervioso central. Sin embargo, las anteriores observaciones acerca de la fiabilidad y la profundidad lógica y aritmética, prueban que, de cualquier forma que esté configurado el sistema, no puede diferir considerablemente de lo que consciente y explícitamente consideramos como matemáticas.

UNA COMPARACIÓN ENTRE CEREBROS Y COMPUTADORAS DIGITALES

Los cerebros y las computadoras realizan tareas totalmente distintas y sus características también lo son. En el cerebro humano hay más neuronas que la cantidad de bits presentes en una estación de trabajo de computación típica. Podría anticiparse que esta situación no se prolongará por mucho tiempo, ya que en tanto el cerebro humano evoluciona

muy lentamente, la memoria de las computadoras aumenta con gran velocidad. De cualquier forma, la diferencia en capacidad de almacenaje es menor comparada con la diferencia en velocidad de conmutación y paralelismo. Los chips de una computadora ejecutan una instrucción en decenas de nanosegundos, en tanto que las neuronas necesitan de milisegundos para su activación. El cerebro es todavía superior a esto, puesto que todas las neuronas y las sinapsis están en actividad simultáneamente, en tanto que las computadoras comunes sólo cuentan con una o algunas CPU. En una red de neurona que trabaja mediante una computadora en serie, se necesitan cientos de ciclos para decidir si una unidad semejante a una neurona se activará, en tanto que en un cerebro real, todas las neuronas hacen lo anterior en un solo paso. Es decir, si bien la computadora es un millón de veces más rápida en cuanto a velocidad neta de conmutación, finalmente el cerebro es decenas de miles de millones más rápido en lo que hace. Uno de los atractivos del método de las redes neuronales es el interés por construir un dispositivo que combine el paralelismo del cerebro con la velocidad de conmutación de la computadora. El crecimiento del hardware a escala total dependerá de que se diseñe una familia de algoritmos para red neuronal que sirva de cimiento para una inversión a largo plazo.

El cerebro es capaz de realizar una tarea compleja (por ejemplo, reconocer una cara, en menos de un segundo, tiempo apenas suficiente para completar unos cuantos cientos de ciclos. Una computadora conectada en serie requiere decenas de miles de millones de ciclos para realizar lo mismo, y no tan bien. Es evidente que aquí existe una oportunidad de un paralelismo enorme. Las redes neuronales pueden servir de modelo para una gran cantidad de cómputo paralelo, más satisfactorio que el método de poner en paralelo algoritmos en serie tradicionales.

El cerebro es más tolerante con las fallas que las computadoras. Un error de Hardware, que un solo bit pase por alto podría provocar la ruina de todo un cómputo, en tanto que hay neuronas que mueren al mismo tiempo sin ningún efecto adverso sobre el funcionamiento global del cerebro. Aunque es cierto que existen diversas enfermedades y traumatismos que pueden afectar al cerebro, en general, éste se las arregla para funcionar durante setenta u ochenta años sin necesidad de cambiar una

tarjeta de memoria, llamar al servicio de mantenimiento del fabricante o solicitar un reinicio. Además, el cerebro, de forma constante, se enfrenta a nuevas entradas y sabe cómo manejarlas. Los programas de computación raramente logran trabajar bien con una nueva entrada, a menos que el programador haya sido excepcionalmente cuidadoso. El tercer motivo por el cual las redes neuronales resultan atractivas es su degradación gradual: su tendencia a una disminución gradual en su desempeño conforme empeoran las condiciones.

Por último, el interés por las redes neuronales es debido a que fueron diseñadas para que su capacitación se realice mediante un algoritmo de aprendizaje inductivo. (Contrariamente a la opinión creada por los medios masivos, desde luego, las redes neuronales distan mucho de ser los únicos sistemas de inteligencia artificial capaces de aprendizaje.) Una vez inicializada la red, ésta puede ser modificada para mejorar su eficiencia en los pares de entrada/salida. En la medida que sea posible dar eficiencia y generalidad a los algoritmos de aprendizaje aumentará el valor de las redes neuronales en cuanto modelos psicológicos y los convierte en herramientas útiles para la creación de una gran diversidad de aplicaciones de alto rendimiento.

Comparación entre los recursos de cómputo general que disponen las computadoras en 1994 y los del cerebro humano:

	Computadora	Cerebro
Unidades de cómputo	1 CPU, 10^5 compuertas	10^{11} neuronas
Unidad de almacenamiento	10^9 bits RAM, 10^{10} bits en disco	10^{11} neuronas, 10^{14} sin
Ciclo de tiempo	10^{-8} seg.	10^{-3} seg.
Ancho de banda	10^9 bits/seg.	10^{14} bits/seg.
Actualización/seg. de neuronas	10^5	10^{14}

FUNCIONAMIENTO DEL CEREBRO

Para la ciencia sigue siendo un gran misterio la manera exacta de cómo el cerebro genera el pensamiento. Sabemos que la neurona, o célula nerviosa, es la unidad funcional básica de los tejidos del sistema nervioso, incluido el cerebro.

Las neuronas están formadas por el cuerpo de la célula, o soma en donde se aloja el núcleo de la célula. Del cuerpo de la célula salen ramificaciones de diversas fibras conocidas como dendritas y sale también una fibra más larga denominada axón. Las dendritas se ramifican tejendo una tupida red alrededor de la célula mientras el axón se extiende un buen tramo. A la unión se le conoce como sinapsis.

Las señales se propagan de neurona a neurona mediante una complicada reacción electroquímica. Las sinapsis liberan sustancias químicas transmisoras; y entran a la dendrita, con lo cual se eleva o se reduce un potencial eléctrico del cuerpo de la célula. Una vez que el potencial eléctrico rebasa cierto límite, se envía al axón un impulso eléctrico o potencial de acción. El impulso se difunde a través de las ramas del axón, y finalmente llega a las sinapsis y libera transmisores en los cuerpos de otras células. Las sinapsis que aumentan el potencial se conocen como excitadoras, y las que lo disminuyen se denominan inhibitoras. Quizá, el descubrimiento más importante es que las conexiones sinápticas muestran plasticidad: alteraciones a largo plazo de la intensidad de las conexiones como respuesta al patrón de estimulación. Las neuronas establecen también nuevas conexiones con otras neuronas. Se considera que los mecanismos anteriores constituyen el fundamento del aprendizaje en el cerebro.

La mayor parte del procesamiento de la información tiene lugar en la corteza cerebral. Lo verdaderamente sorprendente es que un conjunto de sencillas células produzca pensamiento, acciones y conciencia. En el cerebro está el origen del pensamiento. El aprendizaje en las redes neuronales es donde se ve cómo entrenan redes complejas formadas por sencillos elementos de computo, lo que sirve para esclarecer la forma cómo funciona el cerebro

EL ORDENADOR

El ordenador es una máquina que, con gran rapidez y exactitud, puede realizar operaciones lógicas; mediante estas operaciones lógicas, la máquina, es capaz de tomar decisiones según los resultados del cálculo. Un cerebro electrónico puede resolver cualquier problema matemático. La característica esencial de estas máquinas es su gran velocidad de cálculo, que hace posible la resolución de problemas muy complejos en tiempos muy breves. El tiempo empleado en efectuar cualquiera de las operaciones puede llegar a ser de algún micro segundo.

Existen dos clases de máquinas de calcular: digitales y analógicas. Las primeras realizan las operaciones aritméticas mediante números representados por varios dígitos en un sistema determinado de numeración. Los sistemas más comunes son el binario y el decimal. Cada dígito binario tiene dos posibles valores, 0 y 1, que se representan en el interior de la máquina por la ausencia o presencia de un impulso eléctrico; magnetización de un sentido o en el sentido contrario, etc. Las analógicas, para realizar sus cálculos, manejan magnitudes físicas que, por lo general, suelen ser tensiones. La actividad de un cerebro electrónico es puramente automática: no piensa y no puede resolver más que aquellos problemas que el hombre le plantea. Su utilidad es extraordinaria, pues gracias a ella se han podido resolver problemas que antes de su construcción eran insolubles. Tienen aplicación en todas las ramas de la ciencia, administración, entidades bancarias, etc.

Para que una máquina resuelva un problema es necesario confeccionar programas, en el que se detallan las operaciones necesarias, una por una: estas operaciones se efectúan mediante instrucciones que la máquina entiende, y cada una de las cuales hace, cuando se obedece, que se efectúe una operación aritmética o lógica. Estas instrucciones se suministran a la máquina mediante una unidad de lectura. Dichas instrucciones y los datos numéricos necesarios deben archivarse en el interior de la máquina, en una parte llamada memoria.

Al pasar a obedecer las instrucciones cargadas en la memoria se precisa, para su interpretación, una unidad llamada de control que analiza cada instrucción, haciendo que después la unidad aritmética; realice las

operaciones indicadas. Por fin, una unidad de salida se encarga de sacar los resultados obtenidos.

Dispositivos periféricos. Podemos clasificarlos en dispositivos de entrada, dispositivos de salida y dispositivos de almacenamiento de datos.

Dispositivos de entrada. Entre los más utilizados figuran el teclado, el ratón, el escáner óptico y la tablilla gráfica. El teclado es parecido al de una máquina de escribir, con teclas adicionales para mover el cursor de la pantalla, introducir datos numéricos y ejecutar funciones especiales. El ratón es un dispositivo dotado de una bola en su parte inferior, que al moverse sobre una superficie produce el desplazamiento de un puntero en la pantalla. El ratón permite trazar figuras geométricas o seleccionar las opciones que presenta un programa en la pantalla.

EL CEREBRO

Es uno de los centros nerviosos constitutivos del encéfalo, que en el hombre y en muchos mamíferos está situado delante y encima del cerebelo. Es la masa más voluminosa del encéfalo, con un peso medio de 1.200 gramos en el hombre. Está formado por dos hemisferios separados por una profunda fisura interhemisférica y unidos en su base por el llamado cuerpo calloso. La superficie de los hemisferios está profundamente arrugada y en la escala animal las especies más evolucionadas, con funciones cerebrales muy desarrolladas, son las que más arrugado lo presentan. Algunas de estas arrugas son constantes, como el surco de Rolando, de Silvio, etc., que dividen el cerebro en lóbulos, los cuales presentan a su vez otros pliegues, no siempre constantes, que determinan las llamadas circunvoluciones cerebrales. Está constituido por una sustancia gris, periférica (denominada corteza), formada fundamentalmente por neuronas, y una sustancia blanca central, caracterizada por fibras y haces de nervios. En su interior presenta cuatro cavidades o ventrículos, que se comunican con el epéndimo, el canal central de la médula. Todo el cerebro está regado por las dos arterias carótidas internas y las dos vertebra-

les, que aportan unos 750 ml de sangre por minuto. La actividad respiratoria del cerebro es muy intensa y constante, y un defecto de riego sanguíneo de unos diez segundos puede producir una parálisis de sus funciones, de consecuencias fatales. El cerebro está rodeado por las meninges, que la separan del cráneo. El estudio de las lesiones cerebrales y los trastornos que producen, así como la ablación de secciones encefálicas en simios superiores, han permitido la localización de las funciones cerebrales en los llamados centros o localizaciones cerebrales, que por la clase de actividad que realizan se clasifican en centros, sensoriales, centros motores, centros de asociación, y centros de ideación o intelectivos, en que se realizan funciones intelectuales de orden superior, elaborados por la actividad coordinada de toda la corteza cerebral.

El ordenador o cerebro artificial puede existir como una construcción binaria instalada en su memoria y construido por el hombre. Imita comportamientos característicos del cerebro natural.

El ordenador está hecho de metal y de silicio, es decir, de material sólido, mientras que el cerebro está hecho de materia húmeda, porque entra en su composición el agua. Pero ambos tienen en común y funcionan mediante la electricidad, la corriente eléctrica, el software; lo principal y lo más importante para procesar la información.

La unidad del cerebro es la neurona y la unidad del ordenador es el transistor. El agua entra a formar parte de la materia blanca y de la materia gris que forman el cerebro, mientras que la materia del metal y la materia del silicio que componen el ordenador no entra el agua en su composición. También se pueden llamar: cerebro artificial seco y cerebro natural húmedo.

Propiedades de ambos:

- El cerebro crece. Desde su formación hasta la edad adulta.
- El cerebro se reproduce junto con el hombre.
- El cerebro es autónomo. Él mismo se programa a sí mismo.
- El cerebro se regula y responde a los estímulos de su entorno.
- El cerebro requiere nutrientes (sangre) y un aporte de energía.
- El ordenador no crece por sí mismo, sino por el hombre que lo ha construido.

- El ordenador no se reproduce por sí mismo. Tiene que hacerlo el hombre.
- El ordenador no es autónomo. Tiene que ser programado por el hombre.
- El ordenador no se regula ni responde a los estímulos de su entorno. Tiene que ser el hombre quién lo haga por él.
- El ordenador no requiere nutrientes (alimentos) y un aporte de energía.

Hemos visto que aunque el soporte, es decir, el hardware es distinto; en el ordenador el soporte es de metal y de silicio, es duro, rígido; en el cerebro el hardware es de materia blanca y materia gris. En el primero es de material seco y en el segundo es de material blando, húmedo, porque entra en su composición el agua. Pero, sin embargo, el software es el mismo para ambos, es la electricidad, la corriente eléctrica, tanto para los circuitos integrados donde circula la corriente eléctrica como para las neuronas donde también circula la electricidad. En aquél la unidad es el transistor y en éste es la neurona.

Ahora corresponde comparar el ordenador con el Universo. Si el hombre ha ideado, ha compuesto, ha creado el ordenador para su ayuda en el trabajo intelectual, para ordenarlo y para controlarlo, el Universo hizo lo mismo con el cerebro: lo creó para ayudarlo a organizar la Tierra que forma parte del Universo y para ordenarla. El hombre se encarga de cuidar la flora y fauna y de toda la Tierra.

El ordenador es un producto del hombre y el cerebro es otro producto del Universo. Este es más poderoso, tiene más medios y más información que el hombre, por lo tanto su producto es más perfecto. Pero el hombre intenta cada día imitar, copiar el cerebro, lo analiza, lo investiga hasta que deje de ser un misterio para el hombre. Ha fundado el IBRO que es una Organización Internacional para la Investigación del Cerebro con la cual trata el hombre de profundizar en la investigación del cerebro. Con la construcción de redes neuronales artificiales trata el hombre de imitar el funcionamiento del cerebro.

La informática avanza cada año, el hombre descubre nuevos circuitos integrados cada vez más pequeños, chips más reducidos, hasta que

logre el hombre copiar el cerebro perfectamente. El lenguaje natural se perfecciona, la visión artificial, etc.

RELACIONES DEL ORDENADOR CON EL CEREBRO Y EL MUNDO

Estructura del ordenador. El sistema que emplea el ordenador es el binario, es decir, el 0 y el 1. Es el más sencillo, el mejor, y el más económico. Todos los demás sistemas son más complejos y más difíciles; la máquina utiliza el código binario porque la electricidad es positiva y negativa. El magnetismo es también positivo y negativo.

Estructura del cerebro. Como ya conocemos la estructura del ordenador podemos aplicarla al cerebro. Así pues, la estructura del cerebro debe ser igual o parecida a la estructura del ordenador. Aunque la materia con que está construido el cerebro es distinta. El cerebro está hecho de neuronas y el ordenador de circuitos integrados. Sin embargo, emplean el mismo código binario, porque es el mejor y el más rápido y también emplea la electricidad como el ordenador. La forma que tiene el cerebro es simétrica como el imán. En cada hemisferio o lóbulo cerebral existe un polo positivo y en el otro hemisferio un polo negativo que procesan toda la información que reciben de los sentidos.

Estructura de la Tierra. Podemos también aplicar la estructura del ordenador a la estructura de la Tierra, porque todos los ordenadores son iguales o parecidos. La Tierra recibe la información del Sol (luz y calor), esta información es procesada por los dos focos de la elipse (ésta es la forma elipsoidal que tiene la Tierra): un foco hace de polo positivo y el otro de polo negativo. Ambos focos constituyen el ordenador central, que reparten la información recibida y procesada a los demás terminales, que son las plantas, árboles, animales, al hombre, también a los minerales, porque se componen y descomponen por los rayos solares. Así se explica que donde hay poco sol, hay mucha conservación de los materiales, es decir, que se recibe poca información solar. En los polos norte y sur se recibe poca información (luz y calor): no hay procesamiento de

la información, porque no se recibe. Por lo menos es escasa. Sin embargo, en el ecuador la información que se recibe es máxima (luz y calor): hay vida, vegetación. En los polos la información es mínima: hay poca vida y vegetación. El orbe tiene dos Centros, Focos o Polos, ya que tiene forma elipsoidal. Es un imán muy grande, que funciona como un Ordenador Supremo, procesando la información que recibe del Sol. La cual sirve para dar vida, movimiento y evolución a la Tierra. El planeta tiende a la perfección, es decir, a la adquisición de la máxima información.

Estructura del cerebro. Si observamos el cerebro, vemos que tiene la forma parecida a un imán: la cisura hemisférica es la zona neutra que sirve de unión de los hemisferios cerebrales. Cada hemisferio es un polo. El hemisferio derecho es el positivo y el hemisferio izquierdo, el negativo. Es el ordenador central donde se procesa la información percibida por los sentidos, enviando sus decisiones a las terminales o periféricos por medio de los nervios que mueven los músculos, de las manos, de los pies, etc.

Estructura de nuestro planeta. Observando nuestro planeta, podemos notar la forma parecida al cerebro: la cisura hemisférica equivale al eje imaginario donde está la zona neutral, y los dos hemisferios terrestres equivalen o tienen la misma función que los dos hemisferios cerebrales. Forman un ordenador central.

Comparación del ordenador con el Universo

El Universo es el espacio que contiene la materia y la energía, es decir, continente y contenido. Continente es el espacio y contenido es la materia y la energía. Ahora bien, el continente no está completamente vacío de materia y energía, ni está completamente lleno de materia y energía, sino que está mitad vacío y mitad lleno de materia y energía. Está conforme al sistema binario: 0 y 1. El 0 es el espacio vacío y el 1 es la materia y la energía. Así, el universo es un ordenador por sí mismo, es decir, es el ordenador universal, según el principio de que la información no se crea ni se aniquila, Solamente se conserva.

Se conserva la información mediante el código, donde se almacena. Por consiguiente, el Big Bang era el código universal que sigue desarrollándose. Cuando termine su proceso, su evolución, se formará otra vez el código universal, es decir, el Big Bang, que es el principio, el nacimiento de las galaxias y la evolución del Universo. Cuando termine el programa, cuando finalice la información encerrada, almacenada en ese código universal, cuando termine la evolución del Universo, entonces éste se contrae, se concentra toda la información. Una vez concentrada toda la información universal, vuelve otra vez el Big Bang y así eternamente, porque no tuvo principio ni tendrá fin, porque este proceso es cíclico, es decir, que tiene un principio y un fin, pasando la información por varias fases y sucediéndose los fenómenos que se repiten, encadenándose indefinidamente. En el Universo todo funciona por ciclos. Tanto en el reino mineral como vegetal y animal. En el reino

mineral, por ejemplo, el ciclo del agua que cambia de forma y pasa por varias fases: plasma, gaseosa, líquida y sólida, pero la información se conserva, siempre es agua. En el reino vegetal y animal mediante la semilla y el óvulo.

EL UNIVERSO

Es el conjunto de astros y demás cuerpos que pueblan el espacio; o más; generalmente, conjunto de todas las cosas, hechos, relaciones y energías existentes susceptibles, de ser observadas y descritas objetivamente. Del estudio de su origen y formación se encarga la cosmogonía, que durante siglos, ha sido exclusivamente teológica, y sólo modernamente se ha convertido en ciencia. La idea acerca de las dimensiones del universo ha variado en los últimos tiempos. Durante miles de años se creyó que el Sistema Solar ocupaba la mayor parte del Universo, y que las estrellas eran sólo pequeñas luces, situadas: sobre una bóveda no muy lejana. Después de los trabajos: de Galileo, Newton y Kepler se supo que el Universo era mucho mayor, y que el Sol era sólo una estrella análoga a las demás de la Vía Láctea. Los modernos telescopios y radiotelescopios han permitido descubrir que tampoco la Vía Láctea: cubre todo el Universo, sino que es sólo una galaxia, de un grupo de 14, al que se denomina Sistema Galáctico Local, y que a su vez, este grupo de galaxias, unidas entre sí por la mutua atracción gravitatoria, dentro de un radio de cinco millones de años luz, no es más que uno entre muchos miles de sistemas parecidos. Modernamente, todas las galaxias conocidas han sido catalogadas y numeradas, para evitar confusiones. Se supone que las galaxias evolucionan desde un estado muy concentrado de masas globulares, de estrellas hacia formas espirales cada vez más abiertas, y que ha observado que las galaxias se alejan unas de otras a velocidades mayores cuanto más alejadas se encuentran, lo que sugirió la idea de que el Universo está en expansión hacia límites desconocidos. El alejamiento continuo de las galaxias supone un retraso de unos 150 km/seg en la llegada de la luz que emiten por cada cinco millones de años luz que se apartan. Por esta causa, las galaxias que puede haber a

10.000 millones de años luz, estarán alejándose de nosotros a la velocidad de la luz, y nunca podremos percibirlos.

La comparación del ordenador con el Universo es parecida a la comparación del ordenador con el cerebro, y a que éste es un modelo del Universo, es decir, funciona igual es la representación suya.

Si consideramos el cerebro como un Universo en miniatura, entonces nos será más fácil hacer la comparación.

El cerebro adquiere información a través de los sentidos, la procesa y la guarda en su memoria. El Universo, pongamos por ejemplo, el planeta Tierra adquiere información del Sol (luz y calor), en su superficie, la procesa (la fotosíntesis) y esta información se guarda en la Tierra para su desarrollo y evolución (la Tierra es su memoria).

El Universo es el ordenador por excelencia. Está continuamente procesando, menos por la noche que descansa en una mitad de la superficie de la Tierra, pero procesa en la otra mitad, y así alternativamente.

El Universo es infinito, no tiene límites. No tiene centro, aunque cualquiera galaxia puede ser considerada como centro.

Las ideas como la de que el Universo pudiese ser un ordenador se introdujo ya entre 1930 y principios de los sesenta, cuando en una rama de la ciencia, la bioquímica, se demostró que la materia de la vida orgánica es una materia que se está procesando.

Los bioquímicos comenzaron a tratar la materia orgánica como una información codificada; empezaron entonces a necesitar cada vez más de técnicas de la teoría de la información para descifrar los códigos genéticos. Se hizo atractiva la idea de que el Universo pudiese ser tan sencillo como un sistema de proceso de datos. Si esto fuese así, se debería dejar de hablar de materia y energía, como los fundamentos físicos del Universo, y empezar a pensar que todo son datos y proceso de datos.

FÍSICA

Pero había un eslabón perdido, en todos los conocimientos de los físicos, si bien sabían que el ladrillo definitivo del Universo era algo llamado la constante de Planck, una unidad de acción, que no podían ex-

plicarla, salvo manifestar: éste es el ladrillo constructor del Universo. Es una constante universal, llamada también «cuanto de», y cuyo valor es $h = 6,6 \times 10^{-27}$ erg/seg = $6,6 \times 10^{-34}$ julio/seg.

Fue en 1965 cuando se demostró matemáticamente que la constante de Planck era la «unidad de información definitiva» de los números binarios cósmicos. Este era el último hallazgo que se necesitaba. El Universo es una construcción de información. Todo el Universo, incluso todas las formas de materia y pensamiento, forman una construcción virtualmente indistinguible de la de una computadora, y todas sus obras son de la naturaleza de un proceso de datos inteligente. Es por ello, por brevedad, que lo describamos como un Universo inteligente.

La idea central es que todo el Universo es simplemente una gran mente. Es obvio que las radiaciones naturales de la luz a través de la atmósfera, sean muy parecidas a las creadas por el hombre en las comunicaciones de radio o televisión, pues ambas pertenecen al mismo espectro electromagnético, y la única diferencia real es que la luz vibra más rápido que las ondas de la radio. Si partimos de que la energía del Universo está en un 99% constituida por radiaciones de luz entre otras, y de que el hombre ha utilizado las radiaciones con el propósito de transmitir datos, no sería muy improbable que las radiaciones cósmicas fuesen algún tipo de transmisión de datos. La materia sólida es también, intrínsecamente, «datos».

QUÍMICA

Si miramos la química inorgánica, encontraremos una situación paralela, pues cada uno de los más de cien elementos químicos tiene adscrito un número de electrones en sus órbitas, y un número de protones y neutrones en su núcleo, y esta información no es más que un simple número de un código. Puedo describir un elemento como el nitrógeno, pero también puedo llamarle catorce, su peso atómico.

Pero lo interesante del asunto es que estos números específicos son, el resultado de unos patrones de ondas eléctricas (teoría cuántica), y cada molécula tiene diferentes pero singulares patrones de ondas, un código específico, datos específicos.

BIOQUÍMICA

El bioquímico no tiene más opción que tratar su particular química como un código encriptado y convertirse en un descifrador de códigos. El avance de la bioquímica en los últimos años ha dejado atrás las antiguas ideas de que en los genes de los cromosomas dominaba la creación de la estructura de las criaturas. Los avances en los análisis químicos demostraron que no era el pequeño gen el que importaba: sino el compuesto químico del que estaba hecho, y particularmente, determinadas moléculas conocidas como los ácidos nucleicos (ADN). Estos compuestos químicos no son diferentes de otros que están muertos; salvo por la naturaleza del modelo de sus átomos. Esto es virtualmente el programa de la vida, y contiene toda la información o datos para el crecimiento de la vida, el mantenimiento de la salud y la diferenciación de todas las especies desde la brizna de hierba hasta un hombre. Pero esto es sólo posible si estas moléculas muertas de ADN son en realidad datos y nada más que datos. Ahora sabemos que en el campo de la bioquímica los datos de la materia muerta pueden ser la diferencia entre un elefante y una jirafa.

El resultado de esto para el bioquímico que tiene que descubrir estos secretos es que no tiene más opción que tratar los ácidos nucleicos como datos complejos y usar métodos de la Teoría de la Información para descifrar el código.

INFORMÁTICA

La informática tiene lugar por el encuentro de un lenguaje electrónico (el programa) interactuando con otros como la memoria para producir nuevos datos (el proceso de datos).

Esto es exactamente lo que pasa en la química, y un ácido es el programa para la consecución de una sal. Esto es lo que pasa en la naturaleza donde una bellota es el programa para una encina.

Es evidente que el ADN debe también servir como sistema programador para la replicación ordenada de todas las células. Debe especifi-

car no solamente qué moléculas de proteínas se sintetizan, sino también cuántas y en qué secuencia. El ADN debe también determinar la configuración tridimensional de cada proteína, así como su actividad biológica específica. Todavía más, el ADN debe asimismo programar el ensamble de las moléculas de proteínas específicas en asociaciones organizadas o complejos supramoleculares, tales como complejos multiencimáticos, membranas y ribosomas. En última instancia el ADN debe también intervenir en dirigir la formación de los orgánulos, celulares y en guiar su ensamble para formar una célula completa. Yendo todavía más lejos, el ADN debe también decidir si una célula ha de ser nerviosa o ha de ser una célula renal.

Todavía no conocemos los detalles de todos estos sucesos dirigidos por el ADN en cada tipo de célula. Sin embargo, han surgido dos principios básicos primordiales subyacentes al desarrollo de la estructura celular.

Todo esto debería sugerir que el proceso natural del Universo es casi el proceso de datos que tiene lugar dentro de una computadora, y la siguiente tabla realiza la correspondencia.

Computadoras electrónicas	El Univeso
<p>1. <i>Datos.</i> La estructura del conocimiento, en un ordenador «datos» está siempre en forma eléctrica, esto es el «código» y construido de idénticos y definitivos números (simples y definitivas características).</p>	<p>La estructura de la materia física está especificada en las partículas elementales como electrones, neutrones, etc., y las características más insignificantes de diferentes tipos de materia corresponden a diferentes modelos eléctricos.</p>
<p>2. <i>Proceso de datos.</i> La conversión de los datos a través del proceso de datos se lleva a cabo a través de la imposición de un tipo de lenguaje electrónico («el programa») en un almacén de datos ordenadores («memoria de datos»), que también son eléctricos, y el resultado de este proceso de datos es un nuevo patrón eléctrico. Esto nos lleva a decir que el proceso de datos en un ordenador no es más que una serie de transformaciones de patrones electrónicos.</p>	<p>Las transformaciones de materia física se denomina «química», y la química tiene lugar a través de las transformaciones de los modelos eléctricos relacionados con las órbitas de los electrones alrededor del núcleo del átomo, así pues, la química en la naturaleza puede ser considerada un proceso de datos natural.</p>
<p>3. <i>Programas de datos.</i> Los datos en un ordenador existen a dos niveles, por ejemplo, como programas de datos y memoria de datos. Los programas de datos están en un nivel más alto de potencia y efectividad que la memoria de datos porque los programas pueden cargar memoria pero la memoria no puede cargar programas. Esta diferencia que más tarde llamaré «inteligencia», como potencial y «voluntad» cuando es efectivo en el proceso de datos.</p>	<p>En el universo físico hay pruebas de que en los procesos químicos hay sustancias que están a un nivel más alto (de programación). Esto nos lleva a que una bellota es el programa de una encina y puede ser considerada más inteligente que el simple dato de que el árbol esté hecho de agua y dióxido de carbono. A un nivel más pequeño podemos decir que el ADN (ácido desoxirribonucleico) puede ser considerado el programa para la propia bellota y por ello el ADN está a un nivel más elevado de inteligencia.</p>
<p>4. <i>Letras y palabras.</i> En un ordenador establecemos un protocolo con un patrón de cargas eléctricas (números binarios) que pueden tener un significado descifrado. Esto será más simple para la letra C mientras que será más complejo para la palabra «casa». A su modo, un lenguaje con su gramática se crea por estos patrones electrónicos.</p>	<p>En el mundo físico, un lenguaje de letras y palabras establecido por los diferentes elementos químicos, donde los elementos son las letras y los compuestos las palabras. La naturaleza parece tener dos alfabetos: uno de más de cien letras de los más de cien elementos químicos para la construcción de las palabras de la química inorgánica y un pequeño alfabeto que usa las letras: «hidrógeno», «carbón», «nitrógeno» y «oxígeno» para las palabras de la química orgánica donde podemos distinguir un elefante de una jirafa.</p>

Computadoras electrónicas	El Univeso
<p>5. <i>Transmisión de datos.</i> La transmisión de datos en un ordenador tiene lugar con el viaje de ondas eléctricas, esto supone el poder mover datos de un lugar a otro.</p>	<p>La transmisión de datos en la naturaleza tiene lugar a través del equivalente electromagnético de las ondas que conocemos como la luz, rayos X, rayos cósmicos y otras variedades de radiación.</p>

Sumando todo junto, encontramos que se establece una cercana correspondencia entre el funcionamiento de un ordenador y el del universo, esto puede muy bien servir para describirlo más tarde como el Universo de los datos o (debido a la existencia de diferentes niveles de programación de datos en el universo, que veremos después) el Universo Inteligente.

Sustituciones de datos de energía como la materia primigenia del Universo

El físico generalmente considera la energía como el producto básico del Universo, que se organiza en diferentes fórmulas matemáticas que llamamos Leyes de la Naturaleza.

La hipótesis del Universo Inteligente presenta éste hecho de la organización de la materia básica bajo la descripción de datos. Más aún, estos datos deben considerarse objetivamente existentes y no una mera abstracción de ideas hechas por un observador humano. Por consiguiente, en el origen de la realidad objetiva, están los datos objetivos, esto es similar a la expresión religiosa, «en el principio era el Verbo». Por todo esto, se puede decir que el Universo es una construcción de letras cósmicas, palabras cósmicas y pensamiento cósmico. Es por ello, que el profesor Eddington estaba en lo cierto cuando dijo en 1927: «Empezamos a pensar que toda la materia del mundo es materia pensante. No hay nada más.

La idea de que el universo pudiese ser «materia-pensante» fue por primera vez seriamente propuesta desde hechos científicos por sir Arthur Eddington en su libro *The Nature of the Physical World* (*La naturaleza del mundo físico*) después de la última guerra.

Pero dos grandes descubrimientos en los terrenos de la bioquímica han hecho ahora considerar los ácidos nucleicos como una información compleja en los que se pueden usar técnicas descriptivas. También hay un paralelismo tanto en el funcionamiento de la química y el de un ordenador. Además la asombrosa idea de que el universo es principal-

mente un fenómeno de radiaciones cósmicas, y el hombre utiliza radiaciones como la radio y la televisión, y sirven sólo para la transmisión de datos, entonces las radiaciones cósmicas pueden ser esencialmente algún tipo de transmisión de datos.

UNA FRÁGIL LUZ EN UN MUNDO OSCURO: BIOLOGÍA MOLECULAR Y CIBERNÉTICA

Pero hay un solo rayo de luz en la oscuridad de la ciencia moderna, y surge de la nueva llegada al unísono de la biología molecular y la cibernética.

Definiciones

Biología molecular. Es el estudio de la disposición de las moléculas en los genes, lo que indica que la materia orgánica es «información» biológica.

Informática. La ciencia del manejo de información en ordenadores. La ciencia del «control».

No llegaré a ahondar en mayores detalles como en la extraordinaria posibilidad de los dos asuntos anteriores, excepto para decir que se ha avanzado tanto, como para tener en cuenta que sin tardar seremos capaces de convertir los elefantes en jirafas.

Pero esto no es realmente implicación filosófica interesante, la cual es la que ahora parece como si la materia fuera información y el universo debiera ser como un ordenador gigante.

Por ello, hasta ahora la religión apropiada para un científico ha pasado gradualmente por los siguientes pasos:

1. Dios como un ingeniero (hasta 1900).
2. Dios como un matemático (1900 a 1930).
3. Dios como un mago (1930 a 1965).

Ahora parece como si tuviésemos que cambiar nuestra postura y decir:

4. Dios es un mercader de software que programa el hardware del universo.

Pero por extraño que parezca, esto coincide hasta cierto punto, con la informaciones anteriores ya que: Ingeniería + Matemáticas = La magia de los ordenadores.

¿Significa todo esto que, quizá, por fin estamos llegando a una época la cual puede ahora marcar una filosofía que podría ser estable por algún tiempo?

¡LA SOLUCIÓN DEBE SER FANTÁSTICA!

Siempre he estado interesado en encontrar una filosofía basada en la ciencia, y durante más o menos treinta años, he observado varios misterios científicos descubiertos antes, y los he usado como partes de un puzzle recortable, con la esperanza de que ordenándolos pudiese obtener una nueva solución filosófica.

Pero cada vez que examinaba una parte en concreto de ese puzzle científico, el único aspecto en común que encontraba y que pudiese llevarme a una solución para construir el puzzle al completo era que *cada pieza desaparecía entre misterio y magia*.

Poco a poco me convencí de que ese misterio y magia eran debidos al hecho de que la física utilizaba un alfabeto incorrecto y un lenguaje incorrecto para explicar este fenómeno. Estaba usando el lenguaje de la «materia y energía», y de algún modo este lenguaje era inapropiado para explicar realmente un objeto sólido en términos de áreas. Al menos faltaba una dimensión. Esto era así aunque los físicos estaban tratando de explicar el diseño de un automóvil sin atender el concepto de tiempo o movimiento, cuando éstos últimos eran la esencia básica de la función del coche.

Eddington clarificó un aspecto de esto clarificando que cualquier fe-

nómeno físico es alterado por la acción del científico u observador, y Einstein elevó este enigma a alturas mayores haciendo necesario un «observador» para validar las leyes de la naturaleza.

Finalmente, Eddington (un astrónomo) señaló directamente al acertijo cuando sentenció: «empezamos a sospechar que la materia del mundo es materia-mental».

Los datos en la naturaleza: la materia y la química

La aproximación a la Teoría del Universo Inteligente ha indicado una primigenia interrelación en la tríada que forman los datos, la inteligencia y el proceso cibernético. De esas tres categorías, la de los datos es la más fundamental. y en el ámbito de los ordenadores, hemos visto que el aspecto central de los datos es el modelo eléctrico. En el último capítulo también vimos que los datos humanos existen en seis niveles, con el nivel más alto dominando al más bajo. Examinaremos el caso más general de la existencia de datos en la naturaleza.

EL ÁTOMO DE HIDRÓGENO COMO PRIMERA MEMORIA ELEMENTAL

En los ordenadores, la facultad de la memoria está establecida en bits binarios haciendo que los electrones giren en el sentido de las agujas del reloj o al contrario, lo primero, para establecer el bit binario 1, y lo segundo, para establecer el bit binario 0. Este girar de los electrones es llamado magnetismo, y si los electrones giran en un sentido, crean Polo Norte y si giran al contrario crean Polo Sur, y por ello estos conceptos de los polos establecen la diferencia en los datos entre el bit binario 1 y el bit binario 0.

Si ahora uno pasa al mundo natural se hace una pregunta: «¿Cómo podría hacer yo un ordenador natural?», uno tendría que encontrar un sistema en el cual un electrón girando esté cautivo en una memoria, y

éste es el átomo de hidrógeno. El átomo de hidrógeno establece una exacta correspondencia con la más elemental parte de un ordenador, donde se encuentra la presencia de un electrón girando para establecer el código del bit binario 1 y aún quedar cautivo en su órbita alrededor del núcleo del protón. Esta es la primera memoria elemental.

EL ALFABETO DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

El átomo de hidrógeno, considerado como el primer código o signo sólo establece el equivalente al bit binario 1, aunque su ausencia puede ser interpretada como el bit binario 0. Pero esto sería un concepto artificial desde que está claro que la naturaleza ha establecido un alfabeto de aproximadamente cien elementos químicos de la tabla de Mendeléiev. Por ello la naturaleza tiene algo en común con la visión de Bemard Shaw, quien propuso un alfabeto de cuarenta y seis letras, y yo supongo que la naturaleza y el señor Shaw exageraban algo. Pero siendo así, la naturaleza ciertamente ha establecido un alfabeto de memoria de datos de alrededor de cien caracteres, cada uno de los cuales es único y específico, sobre el cual se podría establecer un lenguaje más sofisticado y complicado. Este tipo de alfabeto da más posibilidades de combinaciones y permutaciones encriptadas que los meros 1 y 0 de los ordenadores, y parece que la naturaleza está preparada para todas las eventualidades, aunque remotas, como para representarlo en complejidad. Pero, afortunadamente, la naturaleza se ha refrenado en hacer tal cosa, como veremos, y la mayoría de esas letras del alfabeto natural son simples curiosidades que rara vez se usan.

LA EXPERIENCIA DEL UNIVERSO: LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN

La teoría del universo inteligente es mucho más que una visión del universo, mirándolo desde fuera con sus átomos definidos y códigos de radiaciones, y como un algún tipo de cuadro en el que sólo podemos deducir que allí debe haber algún tipo de significado interior para todo

ello. Sin embargo, la deducción debe ser bastante más aguda, ya que por analogía, si uno mira un ordenador, parece muy probable de dentro hay algún tipo de proceso de datos que tengan algún significado.

Afortunadamente, estamos ahora en situación de mirar al universo desde un punto de vista interior puesto que esto es básico en la teoría de la Relatividad.

La teoría de la Relatividad especial de Einstein estaba basada en un único experimento físico cuyo significado es asombroso. La conclusión revolucionó nuestro punto de vista sobre la naturaleza del universo, quizá merece la pena volver al tema desde el principio.

En el último siglo Michelson y Morley demostraron que la velocidad de la luz de 300.000 kilómetros por segundo era independiente de la velocidad de los observadores, y esto lo contradecía.

Los ordenadores y el Universo

No es difícil establecer analogías entre dos sistemas aparentemente tan dispares como son los ordenadores y la Tierra, si bien en un primer vistazo pudiera parecer que no existe dicha relación, diversos estudios realizados con distintos puntos de vista, podrían llevar a identificar varias líneas de similitud. En este capítulo se comentan algunas de ellas.

Algunas resultan inmediatas y triviales. Así, por ejemplo, para un geólogo interesado en la mera composición físico química de los sistemas, aparecerían similitudes en el hecho de que la Tierra y los ordenadores están compuestos por el mismo elemento químico básico, silicio, y encontraría a partir de ello interesantes propiedades comunes; un sociólogo, cuyos desvelos se dirigen a conocer el comportamiento de las masas humanas, llegaría con seguridad a establecer paralelismos entre los seres humanos, en tanto que miembros de la sociedad, y las distintas componentes individuales que forman cada chip del ordenador. Tan inmediatas relaciones no son, sin embargo, de excesivo interés para nuestros propósitos, de manera que procederemos a identificar otras más evidentes y de mayor significado.

SISTEMAS ORDENADOS

El primero de los puntos de vista que utilizaremos en nuestro estudio es el de considerar que la Tierra (aquí entendido como sinónimo del uni-

verso o de la creación) y el mundo de los ordenadores son similares en cuanto que constituyen dos sistemas ordenados. Manifestar que el universo es un sistema ordenado, un pleonasma (todos los sistemas imaginables lo son, en alguna medida), constatar la más profunda de sus características. La noción de orden que subyace detrás del universo es lo que lo convierte en potencialmente comprensible y, por tanto, habitable para seres inteligentes como somos. El fin último de la ciencia no es sino un intento de comprender y encerrar la estructura del universo en unas pocas leyes fácilmente expresables y comprensibles.

Conocido a este respecto es la famosa frase del físico del siglo pasado, Laplace, quien se mostraba convencido de haber encontrado tales relaciones salvo dos problemas fastidiosos aunque poco significativos, y la anécdota de que estas dos «sencillas» cuestiones son las que dieron lugar a los problemas de que la física de nuestro siglo se está ocupando aún, y con pocas esperanzas de resolverlas a corto plazo. Persona tan eminente como Albert Einstein pasó los últimos años de su vida empeñado en el propósito, aún irresuelto, de encontrar una teoría unificada para expresar la estructura física del universo.

De tales ejemplos y muchos más que se podrían presentar se deduce que es común a toda la comunidad científica internacional la idea, casi el anhelo, de que dichas sencillas leyes existan, y que con ello lleguen por fin los hombres a comprender la estructura íntima y profunda del Universo.

En otra escala, pero similar a lo anterior, el ordenador resulta, valga la redundancia, un sistema ordenado. Desde el momento en que se forma mediante la yuxtaposición de muchos elementos pertenecientes a muy pocas categorías distintas, la ordenación de los mismos resulta de capital importancia para identificarlos correctamente; pero es que, además, concurre la circunstancia de que dichas distintas categorías deben coadyuvar a la operación del ordenador de una manera regida por la idea de orden. Sin embargo, y por contraposición al universo, este orden, es decir, las leyes que gobiernan el funcionamiento interno del ordenador, son perfectamente comprendidas por el hombre, de cuya inteligencia ha sido creado. En todo caso, podría afirmarse que en el diseño y fabricación de computadoras, el hombre sublima su ambición última de convertirse en un ser creador.

EL ANÁLISIS ESPECIALIZADO

Cuando el hombre de ciencia se acerca al conocimiento del universo, debe proceder a dividir el problema según especialidades. Surgen así las distintas ramas de la ciencia: física, química, astronomía, filosofía, teología, en función de cuál sea el aspecto de la realidad sobre el cual se hace particular hincapié. Ya han pasado, en efecto, los tiempos de los sabios enciclopédicos que tanto abundaron en el florecimiento de la civilización griega o en el renacimiento, capaces de proyectar su sombra sobre varias y distantes ramas del saber. No existen ahora grandes pensadores universales sino más modestos expertos en una u otra rama del saber.

De la misma manera, cuando un técnico intenta conocer la estructura interna y modo de funcionamiento de un ordenador debe proceder a dividir el objeto de su estudio en segmentos o «parcelas» relacionadas entre sí sólo colateralmente. De todo ello surge una especialización y una posibilidad de clasificar a quienes trabajan en la informática; es éste un cambio fundamental que lleva a un arte o artesanía a convertirse en ciencia o en técnica susceptible de convertirse en una actividad industrial.

NIVELES DE ANÁLISIS

En el estudio sistemático de cada uno de los sistemas que hemos citado más atrás (Universo, Tierra, ordenador), es posible efectuar una separación en varios niveles de abstracción. Este fenómeno es independiente, aunque paralelo en cierta medida, a la especialización a que nos hemos referido: se trata ahora de adquirir una visión global sobre el objeto del estudio o bien, alternativamente, de conocer en gran detalle, como observado bajo el objetivo de un microscopio, los aspectos parciales de dicho objeto. A mayor abstracción corresponderá un menor nivel de detalle y un mayor nivel de generalidad. En este apartado se establecen, a modo de ejemplo, hasta cuatro niveles en los cuales realizar el análisis de cada uno de ellos.

Cuatro niveles de análisis del universo

En sus intentos de conocer la estructura de la naturaleza, los físicos establecen efectivamente varios grados de detalle, que podríamos denominar niveles de análisis. De todos ellos podemos identificar cuatro, que es el número que se ha establecido como ejemplo, según se muestra a continuación.

Es posible, en primer lugar, especializarse en el estudio del conocimiento íntimo de la materia, identificando los átomos y las partículas que lo componen; éste es el origen de los especialistas en física nuclear, en partículas elementales, etc. Las disciplinas referidas nacieron durante la segunda mitad del siglo pasado y han dado ya origen a varias aplicaciones industriales y militares, desde los rayos X para radiografías hasta la bomba de hidrógeno para la guerra.

Otra posibilidad es la de estudiar el comportamiento de la materia visible y sus interacciones, llegando así a explicar los fenómenos directamente observables por el hombre: es el dominio de los expertos en movimiento, en calor, en resistencia de materiales o en electromagnetismo. Son los físicos de más antigua existencia, y de su actividad se han derivado la mayor parte de las técnicas que sirven hoy a los humanos, desde la arquitectura hasta la telefonía.

En una tercera opción, se podrían analizar los hechos ocurridos a altas velocidades, cuando lo que parece ilógico se torna real, y es ésta la ocupación de los especialistas en altas energías y de los relativistas. Aun cuando de momento su utilidad práctica no está probada, algunas ideas generadas por ellos resultarán de interés en el próximo futuro.

Por último, los astrónomos, astrofísicos o cosmólogos intentan conocer la gran estructura del universo, las estrellas y galaxias, y a partir de ello determinar la evolución del universo, desde su origen hasta su previsible fin. La aplicabilidad de sus estudios no es evidente, y de hecho son contemplados por el resto de la comunidad científica como una mezcla de físicos y filósofos: marcan hoy en día los confines de las ciencias físicas.

Cada una de estas especialidades es marginal con las demás, es decir, las encuentra como casos límites o fronterizos, a veces como casos degenerados. En consecuencia, cada una aprovecha en cierta medida los

conocimientos alcanzados por sus vecinas, a título de caso extremo de sí misma.

Cuatro niveles de análisis de la Tierra

La Tierra puede también ser estudiada aplicando varios niveles de abstracción. Siguiendo nuestro criterio, encontraremos cuatro de ellos: esta subdivisión podría sin embargo extenderse hasta el infinito.

En un primer estadio, aparece el campo de acción del astrónomo o astrofísico, según se le ha definido antes. Este científico estudiará las relaciones de la Tierra, considerado como un planeta, con los astros vecinos y con el resto del universo. Identificará la composición de la Tierra, la cantidad de calor que recibe o su masa, y a partir de lo anterior informará a los ingenieros astronáuticos de las órbitas que los satélites artificiales describen alrededor de la Tierra y a los geólogos de la composición de la misma.

A continuación figuran aquellos científicos que conocen de las características de un segmento apreciable de la Tierra. Los mismos geólogos que estudian la composición de los continentes, los meteorólogos, los cuales dividen el cielo atmosférico en cuadrículas del tamaño de ciudades para poder predecir el tiempo, o los vulcanólogos, expertos en terremotos y en volcanes, serán ejemplos de ello.

En tercer lugar aparecen quienes estudian aspectos de tamaño visible, de escala humana, de la Tierra; un buen ejemplo son los zoólogos, expertos en la morfología de los animales, o los arqueólogos, los cuales conocen la historia del hombre por sus restos humanos.

Por último, finalizando con nuestra analogía, estarán quienes analizan los hechos microscópicos que se dan sobre la Tierra: los biólogos, que estudian el comportamiento de bacterias y virus o los químicos que se especializan en el comportamiento de los átomos de la materia.

Cuatro niveles de análisis de los ordenadores

Existen, asimismo, varios puntos de vista para llegar a conocer y utilizar los ordenadores. Ya, en la actualidad, se puede excluir, por ra-

zones de complejidad, que una sola persona llegue a pertenecer a más de una de las categorías así determinadas. Pero como el proceso informático, consistente en producir servicios a sus usuarios, necesita de todos ellos, los ordenadores deben ser por fuerza resultado de un trabajo en equipo de especialistas. Encontramos en primer lugar técnicos en el núcleo del ordenador, que es su procesador central (unidad central de proceso o, en inglés, CPU), los cuales se dedican al diseño y desarrollo de tales unidades. Sus productos no son de ninguna utilidad aisladamente considerados, de la misma manera que un cerebro sin cuerpo no realiza tarea de utilidad alguna: no puede comunicarse con el exterior, recibiendo información o entregándola. Existen también expertos en la estructura física conjunta del sistema, que se ocupan del ensamblaje de ordenadores a partir de sus unidades fundamentales. Estas personas serán capaces de unir todos sus componentes, utilizando las CPU que han sido fabricadas en el estrato anterior y los dispositivos que funcionarán como los ojos y oídos de la misma; pero, siguiendo con el símil, de sus trabajos surgirá un remedo de ser humano aun cuando sin su inteligencia, una especie de monstruo de Frankenstein. En tercer lugar encontramos a los conocedores de la organización lógica (software) de bajo nivel (esta denominación no es ni mucho menos peyorativa), que trabajarán en las compañías fabricantes de ordenadores para generar dicha organización lógica y ponerla al servicio de los usuarios. De sus trabajos surgen ordenadores potencialmente capaces de llevar a cabo muchas tareas, pero aún no preparados para ninguna de ellas, a la manera de un niño con capacidad de aprender, pero sin conocimientos ni experiencia adquiridos aún. Por último, otras personas serán diestras en los programas (aplicaciones) que llevan al ordenador a realizar las funciones que le solicitan sus usuarios, y se encargan, por tanto, de desarrollarlas o modificarlas. Estos serían, en nuestra metáfora, los profesores que imparten al niño los conocimientos que éste necesita para desarrollar correctamente sus tareas. Se aprecia, por tanto, mediante la metáfora empleada, el papel que cada uno de estas personas juega en la creación de un sistema informático puesto a nuestro servicio, y la manera en la cual éste es el resultado de un trabajo gradual y en equipo.

EL PRINCIPIO DE CAUSALIDAD

Una de las ideas básicas en las cuales se fundamenta nuestra experiencia real es el principio de causalidad. Indica dicho principio que las causas preceden y originan a los hechos que causan. Además de cacofónico, este enunciado parece más bien inane. El verdadero calado de algo tan evidente y fútil a primera vista se comprenderá, sin embargo, si pensamos en un mundo en el cual no tuviera lugar. Encontraríamos en él que la luz se enciende antes de accionar el interruptor, que el ascensor sube a nuestro piso (o a otro, aleatoriamente) sin haberlo llamado o que se hace de día y de noche sin que veamos aparecer ni ocultarse al Sol. En definitiva, el principio de causalidad establece, por así decir, una «flecha» en el tiempo, un sentido natural en el cual transcurren los acontecimientos y que todos aceptamos como normal: nadie espera ver que el tiempo retrocede. La vida en la Tierra y la misma existencia del universo entero se fundan en este principio. No habría existido la evolución que en él se ha dado sin una causa que lo produjese, ni existiría ente alguno, fuera del caos que antes hemos esbozado, sin el principio de causalidad. La propia Tierra es un muestrario tangible del mismo. Vemos cotidianamente que la luz aparece y desaparece, y ello ocurre simultáneamente al nacimiento y a la ocultación del Sol. Apreciamos nuestro peso, la fuerza con la cual el planeta nos atrae, y sabemos que ello nos retiene sobre su superficie y nos hará trastabillar y caer en caso de tropezar. Nos llega a final de mes un salario, y la razón de ello es el pago por el trabajo realizado durante este período de tiempo. El principio de causalidad no deja de existir en las disciplinas científicas no positivas, como las humanidades o las ciencias sociales, pero es mucho menos evidente. Ni el economista es capaz de identificar la razón única del desempleo laboral ni el lingüista conoce las razones que causaron la evolución de las consonantes habladas en latín a las actuales del castellano. Esto no impide, claro está, que existan; pero no serán unas razones únicas sino cúmulos de circunstancias, cada una ponderada de una manera determinada y con un carácter irrepetible en laboratorio. Pues bien, en la opinión de quien esto escribe, uno de los factores que le hacen más agradable (personalmente hablando) el cono-

cimiento de la informática es el que conlleva poder apreciar en todo su esplendor y de una manera inmediata la relación causa-efecto que liga las acciones del operador con los resultados que se obtienen. Así, por ejemplo, es lo más sencillo determinar el cambio que deba introducirse en el programa que esté siendo generado, con la finalidad de solventar un problema que durante dicho desarrollo haya aparecido. Igualmente sencillo es introducir dicho cambio en el programa. Pues bien, el proceso de comprobar si el cambio resuelve los problemas que lo originaron, mediante una sencilla prueba, y de demostrar, con otra batería de pruebas similares, que no se han generado efectos colaterales Indeseados (errores en otras partes del programa, causados por dicha modificación) es atractivamente rápido, inmediato. En definitiva, al diseñar un nuevo equipo, y en mucha mayor medida en el desarrollo de un nuevo programa, es relativamente fácil introducir una modificación, pequeña o grande, y apreciar inmediatamente su efecto sin efectos extraños que lo enmascaren. Del mismo modo, es sencillo comprobar la causalidad lateral, o sea, los efectos no deseados introducidos por una causa. Se reafirma así a diario ante los ojos del informático o usuario de ordenadores el principio de causalidad, que llega a convertirse en el factor más característico de las ciencias de la computación.

EL ORDENADOR Y EL MUNDO

Wiener definió la cibernética como «la ciencia del control y de la comunicación en el animal y en la máquina». Varios decenios más tarde podemos añadir un tercer calificativo a esta ciencia, quedando definida como el estudio de los procesos de control, comunicación, así como la relación entre los seres vivos y las máquinas. Pero aparte de las apreciaciones y matizaciones que puede hacerse, la idea fundamental de los estudios de esta ciencia es poner de manifiesto la semejanza que existe entre los órganos de las máquinas y de los seres vivos: es decir, que los principios en que se basan las funciones de los órganos mecánicos son los mismos que rigen las de los órganos naturales. Para comprobar esta teoría nosotros vamos a estudiar la relación existente entre dos represen-

tantes de la máquina y el ser vivo: el ordenador, símbolo de nuestros días, y la Tierra como gran animal-máquina desconocido. Antes de comenzar a leer este trabajo consideramos preciso advertir que hemos de concebir ordenador y Tierra como dos máquinas distintas, que si bien van a tener semejanzas e igualdades, también tendrán diferencias significativas como iremos viendo.

La primera hay que buscarla en la terminología de una y otra. Así, mientras en el ordenador los términos utilizados, tanto en el soporte físico como en los lenguajes utilizados, tanto en el soporte físico como en los lenguajes de programación, pertenecen al idioma inglés, en el caso de la Tierra provienen del griego o del latín. Este hecho nos lleva a los orígenes de ambos. Los términos clásicos nos informan de la antigüedad del planeta, mientras que el inglés nos traduce una modernidad y actualidad total del ordenador. Este surge en la segunda mitad de nuestro siglo, como lógica evolución desde las primeras máquinas. Se busca un perfeccionamiento que siempre actúa en beneficio del ser humano. La Tierra por su parte nos impone un problema, ya en su origen, puesto que son varias las opciones que se barajan sobre el comienzo de nuestro mundo (Humboldt, Big Bang, divinidad...). Es clara, pues, la oposición entre lo concreto de la máquina, con nombre de creador y fecha, y lo abstracto y desconocido de la Tierra. No obstante, tanto una como otra, son máquinas de posibilidades ilimitadas y desconocidas. La explotación de esas posibilidades dependerán de la imaginación, la inteligencia y ante todo, las necesidades que el hombre tenga. Si bien los beneficios que se obtienen serán positivos para la humanidad, se corre el peligro de caer en una total dependencia de la máquina, que ya en nuestros días comienza a manifestarse.

En el funcionamiento y mantenimiento de una máquina siempre existe una base a partir de la cual se avanza y se perfecciona. Aparecen, en el caso del planeta, fuentes de energías básicas que no se dejan utilizar. En el caso de la máquina aparece un lenguaje básico, a partir del que se dibujan nuevos lenguajes de programación, por lo que los nuevos sistemas que aparecen son aplicaciones de un original.

La Tierra es una gran máquina con un hardware de impresionantes posibilidades. La programación de la Tierra corresponde a las opciones

del hombre de hacerlo. Los sistemas y lenguajes para conseguirlo dependen de la evolución, imaginación y necesidades del hombre.

El trabajo es constante. Aunque pueda parecer lo contrario, tanto el planeta como el ordenador tiene una jornada intensa. En el caso de la Tierra, jamás se desconecta y en todo momento está en funcionamiento. Si bien el hombre concibe, en la mayoría de los casos, la noche como un paréntesis o un cese de actividades, lo cierto es que no es así. Algo parecido ocurre con las máquinas y ordenadores. La actividad nocturna no cesa, y posiblemente su productividad pueda ser mayor que durante el día, puesto que no está expuesto a continuadas interrupciones.

Pensemos en un ordenador de cualquier sucursal bancaria. Durante el día atiende a cientos de clientes, lo que dificulta una actividad continuada. Mediante un programa adecuado, ese mismo ordenador durante la noche puede proceder a poner al día las cuentas de todos los clientes de ese banco.

No obstante, el ordenador puede ser desconectado ya que se trata de un dispositivo de dos estados o biestable, semejante a un interruptor de la luz. Sin embargo, la Tierra está constantemente en funcionamiento, ya que su «sistema operativo» son continuos.

Comparando físicamente un ordenador con la Tierra obtendríamos las siguientes identidades.

La parte dura o soporte físico del ordenador se conoce como hardware. En la máquina serían los componentes que podemos ver y tocar al contemplar la instalación de un ordenador. En el planeta esta parte dura la constituiría el planeta en sí: el suelo, montes, ríos, mares, etc., la gran diferencia sería que las formas, tamaños y colores del ordenador dependen de la imaginación del fabricante. En el caso de la Tierra, esta idea se antoja más complicada y difusa.

El software sería el conjunto de programas que conducen al ordenador. Se conocen como sistemas operativos. Este sistema operativo es la llave que abre el funcionamiento del ordenador. Abierta su puerta podemos adentrarnos en la magia de la máquina. En la Tierra, el sistema operativo estaría más diversificado que en el ordenador, aunque al igual que en éste, no es imprescindible que ese sistema operativo se encuentre contenido en el ordenador. Como decía, en la Tierra, el sistema llave es-

taría constituido por el Sol, aire, agua, calor interno, yacimientos... Como se ve, no todos residen en el hardware, pero todos ellos permiten el funcionamiento del planeta.

Un tercer elemento separa que podemos diferenciar en un ordenador sería los programas de aplicación que son aquellos que permiten a la máquina realizar funciones útiles. Siguiendo con el ejemplo anterior de la sucursal bancaria, estos programas serían aquellos que permiten poner al día las cuentas corrientes de los clientes de un banco. Las máquinas interpretan lo que el hombre ha diseñado y funcionan según el interés de éste. En el caso de la Tierra, el hombre programa centrales solares, hidráulicas, excavaciones.

QUÍMICA Y ORDENADORES

Es evidente que en cualquier sistema del universo existen una serie de leyes, normas por las cuales se rige su ordenamiento y estructuración. Esto se puede aplicar a los campos de la química y de la informática.

Como ya se sabe, la base de la informática la componen una serie de elementos básicos, bits, que poseen un código binario: 1 (pasa corriente), 0 (no pasa corriente). Dependiendo del ordenamiento relativo en que se encuentre cada elemento básico, este conjunto de señales puede ser codificado para transformarse en un mensaje legible por los hombres.

En el campo químico, tenemos fundamentalmente dos aspectos a tener en cuenta en un sistema: la materia y la energía asociada a la materia. Para describir el nivel de ordenamiento del conjunto de los elementos que forman el sistema, aparece el término energético denominado entropía. La entropía es una variable que nos indica cuán desordenado está nuestro sistema. Esta variable influye en el hecho de que nuestro sistema puede evolucionar o no para obtener unos productos.

Con esto queremos ver que dependiendo de la estructura del sistema, éste puede evolucionar de una forma u otra hasta un resultado final que en informática puede ser un dato y en química un producto.

Podríamos hacer un análisis comparativo entre dichos sistemas químico e informático.

Siguiendo un proceso analítico desde los componentes más simples a los más complejos es evidente que, en química, los elementos del sistema periódico son la base de este sistema. Dichos elementos se combinan entre sí para darnos moléculas, e incluso éstas vuelven a combinarse para dar otras moléculas más complejas de distinta naturaleza; y dependiendo de dicha naturaleza podremos llegar a sintetizar moléculas de estructura superior.

Esta analogía aplicada a la informática la podemos relacionar con el software del sistema. Primeramente, pues, los elementos básicos son las órdenes, variables, datos..., por independiente. Al conjuntar dichos elementos se crea un programa de estructura más compleja.

Como se ve, la unión de dichas órdenes se hace según unas leyes (ejemplo: IF seguido de THEN, FOR seguido de NEXT...), al igual que la unión de átomos siguen unas leyes.

Dependiendo del tipo de elementos pueden tener distintos tipos de programas: Basic, Cobol, Pascal, Fortran... De tal forma que para la resolución de un problema puede enfocarse desde distintas perspectivas usando un lenguaje de programación u otro.

El software está compuesto por los programas de aplicación, los lenguajes y los sistemas operativos. La evolución hoy en día está haciendo que la importancia relativa de este apartado sea cada vez mayor, tanto en sus costos como en la influencia que tiene sobre la eficacia del equipo y sus prestaciones.

A semejanza con los elementos químicos, dependiendo de su naturaleza, podemos tener distintos tipos de reacciones que se estudian en las distintas ramas de la química: orgánica, inorgánica, metalurgia, bioquímica... Así pues, un mismo problema puede ser resuelto según el enfoque que se le dé.

Otro punto de vista en el sistema informático es el hardware. El hardware es la componente material del ordenador formada por los elementos físicos del sistema: circuitos, canales de comunicación, periféricos, dispositivos de memoria... Este soporte hace posible la aplicación del software.

Igual que en informática, se establece una correlación con el sistema químico de tal forma que el soporte es el conjunto de condiciones físicas

con las cuales se puede llevar a cabo la reacción. Así, se han de tener en cuenta distintos factores como: presiones, temperaturas, caudales... Dichas condiciones se hacen realidad empleando material de laboratorio (mecheros, matraces,...) o bien maquinaria en una industria (depósitos, motores, válvulas,...) sin los cuales no se lleva a cabo el proceso químico. Por tanto, así como el hardware y el software se complementan, podemos considerar que la reactividad química y las condiciones para que se haga efectiva también son complementarias. Solamente tienen sentido real cuando los consideramos en conjunto.

En conclusión, entre ambos sistemas se pueden establecer correlaciones a partir de una base elemental, ya que han sufrido un proceso evolutivo debido a las facultades del hombre de crear, manipular y modificar su propio entorno.

COMPARACIONES DE LA BIOLOGÍA CON LA INFORMÁTICA

Parece que no hay relaciones entre estas dos ciencias pues, la biología trata de los seres vivos y la informática, de los ordenadores, o sea, de los seres muertos.

No obstante, sí existen relaciones como vemos a continuación: el ser vivo funciona gracias al código genético que es un programa y el ordenador también funciona mediante un programa que es el software.

La biología emplea el sistema binario, el ordenador también usa el código binario. Con el siguiente ejemplo, podemos ver cómo la biología utiliza el sistema binario: cada hombre ha sido engendrado por un padre y una madre. Tiene dos abuelos paternos y dos abuelos maternos. Cuatro bisabuelos paternos y cuatro abuelos maternos y así sucesivamente siguiendo el orden binario.

Ejemplo:

01	—	Luis = $2^0 = 1$	(el hijo)
10	—	$2^1 = 2$	(el hijo)
100	—	$2^2 = 4$	(2 abuelos paternos y 2 maternos)
1000	—	$2^3 = 8$	(4 bisabuelos paternos y 4 maternos)

$$\begin{array}{rcl}
10000 & \text{————} & 2^4 = 16 \quad (\text{cuarta generación}) \\
100000 & \text{————} & 2^5 = 32 \quad (\text{quinta generación}) \\
1000000 & \text{————} & 2^6 = 64 \quad (\text{sexta generación}) \\
& & \vdots \\
& & 2^n = \quad (n \text{ generación})
\end{array}$$

CONSECUENCIAS

1.º Vemos que las generaciones de todos los hombres se prolongan hacia el infinito en el tiempo. La eternidad. Las generaciones son eternas. No tienen principio ni tendrán fin. Por el principio de la conservación de la materia y de la energía: nada se crea y nada se destruye. Todo se transforma.

Principio de la conservación de la información. La información ni se crea, ni se destruye. Solamente se transforma. La información del código genético se conserva de generación a generación, pero esta información también se va transformando de una generación a otra. Con cada generación se van adquiriendo genes buenos y genes malos.

2.º Que en cada generación se duplican sus progenitores (ancestros).

3.º Que todo ser vivo ha tenido un número ilimitado de progenitores, como se demuestra por la fórmula del código binario.

4.º Que todo viviente ha heredado genes buenos y genes malos, pero que la sabia naturaleza tiende a eliminar los genes malos por la selección natural y tiende a la perfección.

5.º Cuando se complete el mapa del genoma humano, se podrán eliminar los genes defectuosos.

6.º Que la gráfica de las generaciones de todo ser viviente es una pirámide cuya base no tiene límite y cuya cúspide está formada por los hijos, pero que con el tiempo seguirán formando otra pirámide cuya base tampoco tendrá fin. Son dos pirámides simétricas, cuyos vértices son los hijos actuales que forman los ejes de simetría.

7.º Que la información del código genético se transmite de padres a hijos indefinidamente, sin principio ni fin.

8.º Que la Naturaleza es sabia. Y que el Universo es inteligente. Que el ser superior que llamamos dios es la Naturaleza.

9.º Los insectos ayudan a fecundar las plantas. Consecuencia de lo cual es que la vida vegetativa no ha existido antes que la vida animal, sino al mismo tiempo, formando un todo relacionado entre sí, para guardar el equilibrio en la naturaleza.

10.º Que el huevo no es antes ni después que la gallina. Todo depende del punto de vista. El huevo y la gallina forman un circuito cerrado de información que se transmite de generación en generación. Dicha información aparece unas veces en forma de huevo y otras veces en forma de gallina, pero la información siempre se conserva, solamente se transforma en huevo, pollo, gallina. Es un ciclo.

El ordenador, el cerebro y el Universo¹

Se revisan brevemente las razones por las cuales (1) el tiempo no puede ser una categoría primordial en la descripción de la naturaleza, sino secundaria, aproximada y derivada, y por las cuales, las leyes de la física no pudieron ser grabadas para la eternidad en una tabla de granito, sino que llegaron a ser gracias a un mecanismo que funcionaba desordenadamente. Es difícil defender la posición según la cual la existencia se compone, en el fondo, de partículas, de campos de fuerza o de espacio y tiempo. Se llama la atención sobre el «fenómeno del cuanto elemental», como elemento edificador de todo lo que es. La tarea de la construcción de la física desde tales elementos se compara y contrasta con el problema de construir un ordenador a partir de dispositivos binarios de «sí o no».

DE LOS ELEMENTOS A LA ESTRUCTURA Y DE LA ESTRUCTURA A LOS ELEMENTOS

Un ordenador atípico se presenta a lo lejos en el centro de la sala de exhibición. Algunos de los observadores se maravillan de su poder sin precedentes; otros se reúnen en animados corrillos intentando, pero muy

¹ Archibald Wheeler, J., publicado en la *Revista Internacional de Física Teórica*, vol. 21, núms. 6/7, 1982.

en vano, desentrañar su filosofía, su lógica y su arquitectura. La idea central del nuevo dispositivo se les escapa. La idea central del universo se nos escapa.

Naturalmente, ningún ordenador real brota totalmente moldeado de la cabeza de Minerva. Comenzamos con los elementos y analizamos cómo llegan a estructurarse. Para el universo comenzamos con su estructura e intentamos descomponerla en sus elementos. La informática y la física básica marcan dos de las fronteras a la civilización de esta época. La una busca extraer complejidad de la simplicidad. La otra intenta desenmarañar la complejidad cara a la simplicidad. Nadie, según se ha dicho, es mejor descomponiendo un rompecabezas que la persona que lo construyó, y nadie es mejor recomponiendo un rompecabezas que quien lo disgregó. Entonces, ¿puede que haya un poco del aroma de la investigación en física con interés para la informática?, ¿y se puede aprender algo útil para desenredar el universo con la filosofía del diseño informático?

Hay un punto de semejanza inmediata entre ambas empresas. Sería difícil encontrar a alguien completamente comprometido con la empresa que sea, y que no viva cada día entre la decepción y la esperanza, y que no vibre con las palabras de Einstein: «En mi opinión hay el camino correcto y... está en nuestro poder encontrarlo» (Einstein, 1934).

Sería de ayuda comparar y contrastar las dos empresas bajo cuatro cabeceras en este informe. Primero, el ordenador moderno y el universo cuántico son similares al operar con el principio de «sí o no» más que con el de «cuánto». Segundo, el ordenador y el universo difieren completamente en lo que requieren para su construcción. El ordenador está hecho de los materiales y de las fuerzas y leyes de la física. El Universo tiene que construir partículas sin partículas, campos sin campos, espacio-tiempo sin espacio-tiempo, y ley sin ley. Tercero, hay un punto de semejanza: los cálculos tienen que hallar un compromiso entre la adecuación y el coste, y así hacen las medidas en el mundo de la física. Cuarto, el punto central en ambos casos es la necesidad para el usuario de distinguir el resultado correcto del erróneo. Finalmente hay otro contraste. Lo que resulta de un ordenador lo fija únicamente aquello por lo cual funciona, mientras que el mundo del cuanto hay un elemento probado en lucha, e ineludible, de impredecibilidad.

AMBOS TRATAN CON «SÍ O NO» MÁS QUE CON «CUÁNTO»

La primera semejanza entre el ordenador y el cerebro es su carácter de «sí o no». ¿Quién, en los viejos tiempos, no habría adscrito a ambos en cambio aun carácter de «cuánto»? El reloj mecánico de los griegos (Price, 1974), para conservar el registro del movimiento solar y lunar, pertenecía a ambos mundos, ordenador y física, y era un dispositivo de «cuánto», si es que era alguno. Un antecesor del ordenador analógico y del analizador diferencial de Vannevar Bush; era también un símbolo de la cinética del «cuánto» de Ptolomeo, Copérnico y Kepler, de la dinámica del «cuánto» de Galileo, Newton y Euler, y también de la teoría de campo en torno al «cuánto» de Faraday, Maxwell, Hertz y Einstein.

El gran Leibniz, con seguridad, tenía una visión más profunda de los ordenadores y de la física. Establecedor del objetivo para las diversas empresas de Godel y de Neumann, concibió un dispositivo que atravesaría automáticamente las etapas «sí o no» de una prueba lógica y que así traería el poder de la lógica para ayudar en los problemas diarios de la más variada índole. Por el lado de la física, el «sí o no» de Leibniz fue inspiración para Kant, Mach y Einstein. Kant razonaba que el espacio y el tiempo son dos condiciones esenciales para la percepción sensorial; que no son datos aportados por las cosas sino necesidades absolutas de la mente ante cualquier posibilidad de hacer algo en cualquier sentido con los datos de la experiencia. Cuán interesante sería retomar el programa de la crítica de Kant (Kant, 1781) si uno estuviera armado del discernimiento moderno. ¿Encontraría uno que las verdaderas condiciones para aprehender los datos sensoriales fuerzan al espacio-tiempo bajo nosotros, y no al espacio y al tiempo separados que Kant pensaba haber derivado?

Mach (1886) argüía que las sensaciones son el fundamento de todos los conceptos del mundo físico, que una «ley» de la física no hace más que poner sensaciones en un orden convenientes, como una percha de abrigos pone los abrigos al alcance de la mano.

Si la concepción de Mach, más tarde rechazada por Einstein, estaba al principio inspirada en Einstein y su desarrollo de la relatividad gene-

ral (Herneck, 1979), no debería sorprender que las palabras de Einstein «... el tiempo y el espacio son modos con los cuales pensamos y no condiciones bajo las cuales vivimos» (Forsee, 1963) hagan eco a la aseveración de Leibniz: «... el espacio y el tiempo son órdenes de cosas y no cosas» (Leibniz, 1908).

Las sensaciones, sin embargo, esas sensaciones sobre las cuales se asienta toda nuestra imagen física, no son de carácter «cuánto». La teoría cuántica nos dice que son sensaciones «sí o no».

Desde una manchita de color en el lienzo de un cuadro impresionista, en el vistazo de un simple segundo la pupila de nuestro ojo recibe 50.000 fotones. Cada fotón es accidental en su dirección y en el momento de llegada. Los cuantos en esa lluvia de información son tan numerosos que dan la impresión de una perfecta uniformidad lumínica. ¿Quién de nosotros, ocupados mortales, tiene tiempo para contarlos todos? Nos basamos, en cambio, en una medida bruta y más manejable de intensidad, la cual el ojo pasa así adecuadamente al cerebro. No hay lugar en ese mensaje para las palabras calificativas, «con una fluctuación cuadrática media (raíz cuadrada de las medias de los cuadrados) de 224, para un número medio de 50.000». ¿Quién necesita saber sobre los cuantos para saber que el punto de color está ahí? La medida de las cantidades incluso más continuas en carácter e intensidad, como la posición de un electrón, nos la enseñó von Neumann (1955) por medio de sus «operadores de proyección» para clasificar en asuntos «sí o no». Para el mundo de la física, y para la impresión alfanumérica del ordenador, el carácter «sí o no» de lo que está ocurriendo puede no ser aparente, pero está detrás de la escena.

CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINARIA FRENTE A CONSTRUCCIÓN DEL UNIVERSO

Similares en su carácter «sí o no», el ordenador y el universo difieren en un rasgo central, su *substancia*. El ordenador está hecho de maquinaria, ya consista la maquinaria de hilos y transistores, o de burbujas magnéticas, o de impulsos lumínicos, «pelotas de billar», moléculas bio-

lógicas o entidades menores. Depende de las leyes del mundo físico para su función. ¿Pero de qué está hecho el Universo, y por cuáles principios de construcción?

Las partículas, los campos de fuerza y el mismo espacio-tiempo son todos seguramente entidades intermedias en la construcción del universo. Más allá y sobre ellas, sin embargo, está el cuanto, el principio cuspide de la física del siglo veinte. En su corazón, a su vez está lo último intangible, el fenómeno del cuanto elemental. La misma palabra «fenómeno» es el fruto trabajosamente recogido del diálogo durante veintiocho años entre Bohr y Einstein (Bohr, 1949) sobre la consistencia lógica de la teoría cuántica y sus implicaciones para la «realidad». En palabras de hoy, «ningún fenómeno elemental es un fenómeno hasta que es un fenómeno registrado (observado)» (Wheeler, 1980).

Quien viene de una época antigua y está acostumbrado al cuadro del universo como máquina hecha de «átomos» no sólo se decepciona, sino que se desconcierta cuando lee a Leibniz y a la concepción leibniziana de la unidad última constitutiva, la mónada (Leibniz, 1962).

- 1.º La mónada, de la cual hablaremos aquí, no es nada más que una sustancia simple, que va a formar compuestos; por «simple», queremos decir «sin partes».
- 2.º Debe haber sustancias simples porque hay compuestos; porque un compuesto no es más que una colección o agregado de sustancias simples.
- 3.º Cuando y donde no hay partes constituyentes no son posibles ni la extensión, ni la forma, ni la divisibilidad. Estas mónadas son los verdaderos átomos de la naturaleza; y, de hecho, los elementos de las cosas.
- 4.º Tampoco hay manera de explicar cómo una mónada se puede alterar o cambiar en su ser interior por otra cosa creada, dado que no hay posibilidad de transposición en su seno... las mónadas no tienen ventanas a través de las cuales algo pueda entrar o salir.
- ...
- 9.º Cada mónada... «debe ser diferente de las demás».

Estas palabras de Leibniz sobre la «mónada» son más relevantes para el «fenómeno cuántico» que para todo lo que se ha llamado «átomo» alguna vez. No hay ilustración más simple de un fenómeno cuántico que la suministrada por el divisor de luz de la figura 1. Con el espejo final semiplateado en su sitio, el fotodetector abajo a la derecha hace clic-clic cuando llegan los sucesivos fotones, pero el contador adyacente no registra nada. Esto evidencia la interferencia entre los rayos 2a y 2b; o, en lenguaje fotónico, evidencia que cada cuanto lumínico que llega ha llegado por ambas rutas, A y B. En tales experimentos, Einstein arguyó originariamente que es irrazonable para un fotón simple recorrer simultáneamente dos rutas. Quita el espejo semiplateado abajo a la izquierda, y encontrarás que el primer contador se apaga, o que se apaga el otro. Así, el fotón ha recorrido solamente una ruta. Recorre solamente una ruta, pero recorre ambas rutas; recorre ambas rutas, pero recorre solamente una ruta. ¡Qué sin sentido! ¡Cuán obvio es que la teoría cuántica es inconsistente!

Bohr puso énfasis en que no hay inconsistencia. Estamos tratando con dos experimentos diferentes. El primero, con el espejo semiplateado quitado, dice cuál es la ruta. El segundo, con el espejo semiplateado en su sitio, evidencia que el fotón ha recorrido ambas rutas. Pero es imposible hacer ambos experimentos a la vez. Uno puede observar un rasgo de la naturaleza, o bien el rasgo complementario de la naturaleza, pero no ambos rasgos simultáneamente. Lo que escogernos para medir tiene una consecuencia insuperable en lo que encontraremos.

En nuestros días aprendimos a fijar el punto aún más agudamente por medio del llamado «experimento de elección aplazada» (Wheeler, 1978). Ahí tomamos la decisión sobre si poner el espejo semiplateado final en su sitio o si quitarlo en el último picosegundo real, después de que el fotón ha realizado ya su trayecto. En este sentido, tenemos una extraña inversión del orden normal del tiempo. Ahora, poniendo el espejo dentro o fuera, tenemos un efecto inevitable sobre lo que tenemos derecho a decir acerca de la ya pasada historia de ese fotón.

La dependencia de lo observado bajo la elección de la estructura experimental dejaba a Einstein insatisfecho. Entra en conflicto con la visión según la cual el universo existe «ahí fuera», independiente de nues-

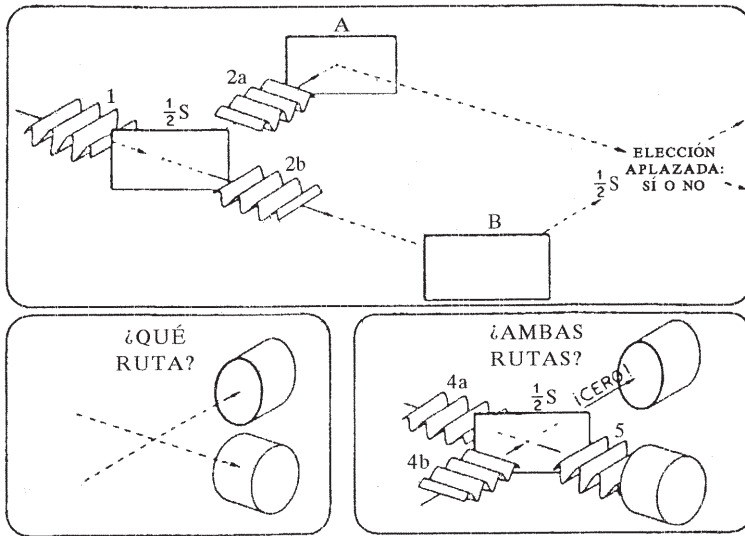


Figura 1.—Divisor de luz (arriba) y su uso en un experimento de elección aplazada (abajo). Una onda electromagnética se presenta en 1 y encuentra el espejo semiplatedado marcado como $1/2S$, que lo divide en dos rayos, 2a y 2b, de igual intensidad, y que son reflejados por los espejos A y B a un punto de cruce a la derecha. Los contadores (abajo a la izquierda) situados tras el punto de cruce dicen por cuál ruta ha llegado un fotón que se presente. En la estructura alternativa de abajo a la derecha, se inserta un espejo semiplatedado en el punto de cruce. En un lado pone los rayos 4a y 4b en interferencia destructiva, así que el contador situado en ese lado nunca registra nada. En el otro lado los rayos son puestos en interferencia constructiva para reconstituir un rayo, 5, de la fuerza original, 1. Cada fotón que entra en 1 es registrado en ese segundo contador en el caso ideal de espejos perfectos y de eficiencia del fotodetector al 100%. En la primera estructura (abajo a la izquierda) uno encuentra por cuál ruta llegó el fotón. En la otra estructura (abajo a la derecha) uno tiene evidencia de que el fotón que ha llegado vino por ambas rutas. En la nueva versión «de elección aplazada» del experimento, uno decide si ponerlo en el espejo semiplatedado o si sacarlo en el último minuto. Así, uno decide si el fotón «habrá llegado por una ruta o por ambas» después de que ha «hecho ya su recorrido».

tros actos de observación. Por el contrario, Bohr acentuaba que nos enfrentamos aquí con un ineludible rasgo nuevo de la naturaleza, que se debe saludar por la incompreensión que nos da. Es erróneo hablar de la «ruta» del fotón en el experimento del divisor de luz. Es erróneo atribuir tangibilidad al fotón en todo su recorrido desde el punto de entrada hasta su último instante de vuelo. Un fenómeno no es todavía un fenómeno

hasta que ha sido traído aun acto cerrado e irreversible de amplificación, como el ennegrecimiento de una emulsión de bromuro de plata o el accionamiento de un fotodetector (Bohr, 1958). En términos más amplios, encontramos que la naturaleza en el nivel cuántico no es una máquina que sigue su inexorable curso. En cambio, qué respuesta obtenemos depende de la pregunta que formulemos, el experimento que establezcamos, el dispositivo de registro que escojamos. Estamos ineludiblemente implicados en traer lo que parece estar sucediendo.

La elección de la pregunta planteada tiene una consecuencia decisiva para² el fenómeno del cuanto elemental. Como ilustración es suficiente volver a examinar la figura 1 sobre la «huella» del fotón, o examinar del mismo modo el «camino» de un electrón a través de un divisor de luz, o el «movimiento» de un electrón en un átomo. En cada uno de estos ejemplos, además, al menos una de las elecciones posibles de la pregunta que plantear (qué ruta para el protón o el electrón; o qué posición o momento tiene realmente el electrón en el átomo) tiene una respuesta completamente impredecible. Podemos enviar un millón de fotones por el divisor de luz cuando opera en la estructura «qué ruta» abajo a la izquierda de la figura 1. Entonces puede asegurarse que un millón de fotones más o menos (las variaciones estadísticas tienen un orden de magnitud de ¡500 fotones) será grabado por cada contador. Sin embargo, cuando por vía de la misma estructura tratamos con un solo fotón, no tenemos la menor posibilidad de predecir a cuál de los dos contadores impactará.

¿No hay algún mecanismo subterráneo bajo el funcionamiento del mundo, al cual se pueda descubrir para asegurar una indicación preliminar del resultado? ¿Algún determinante secreto, alguna «variable oculta»? Todo intento, teórico u observacional, para defender tal hipótesis, ha sido desmontado (para una revisión de los experimentos relevantes,

² ¿Por qué no cambiar «tiene una consecuencia decisiva para...» por «es toda la diferencia en el fenómeno cuántico individual»? La palabra «diferencia» no es permisible. Podemos hacer un experimento o el otro, pero los dos experimentos simplemente no caben en un mismo lugar al mismo tiempo. Estamos tratando con un fenómeno, con un «acto de creación». La «diferencia» no es permisible. Podemos hacer un experimento o el otro, pero los dos experimentos simplemente no caben en un mismo lugar al mismo tiempo. Estamos tratando con un fenómeno, con un «acto de creación». La verdadera individualidad del fenómeno del cuanto no deja lugar a comparar qué es con qué podría haber sido.

véase Pipkin, 1978). No se ha encontrado la menor evidencia firme que arroje dudas sobre la llana y directa predicción de la mecánica cuántica: la predicción de que no es posible la predicción. ¿Probabilidad? Sí. ¿Un pronóstico definido? No. Einstein podría estar insatisfecho con la frase «Dios juega a los dados con el universo»; pero Bohr podría decirle sarcónicamente: «Einstein, deja de decirle a Dios lo que debe hacer» (véase Bronowski, 1973).

Si no hay mecanismo identificable a mano para decir al fotón solitario qué vía debe seguir, entonces; ¿por qué no decir simplemente que Alá ha querido la ruta que sigue actualmente?, ¿y quiso el resultado de todo otro proceso cuántico individual?

Derribar una proposición de este tipo está más allá del poder de la lógica, según se ha indicado más de una vez³. En vez de ello, decimos simplemente que el fatalismo no es una aproximación útil a las elecciones de cada día entre los caminos del peligro y la oportunidad. si en el cuanto individual la predicción llega al fin del sendero, cierto que nos equivocamos al pedir a la ciencia una «causa» del resultado para el cuanto individual.

¿Cómo llegó a la existencia el Universo? ¿Es algún proceso extraño y lejano, más allá de la esperanza de análisis? ¿O bien el mecanismo que se puso en funcionamiento es algo que se muestra a sí mismo todo el tiempo? ¿Significó el genio de Leibniz, de alguna manera, el profundo y secreto apuntalamiento de la existencia, la necesidad que se sitúa tras la extrañeza del cuanto? ¿Anticipó en la mónada el fenómeno cuántico? No importa.

De todos los rasgos del «acto de creación» que es el fenómeno cuántico elemental, el más inquietante es el que hemos visto en el experimento de elección aplazada. Se dirige al pasado, en aparente oposición al orden normal del tiempo. La distancia de viaje en un experimento de laboratorio sobre división de la luz puede ser de 30 metros, y el tiempo una décima de microsegundo, pero la distancia podría haber sido también miles de millones de años luz y el tiempo miles de millones de años. Así que el dispositivo observacional aquí y ahora, de acuerdo con

³ Para un tratamiento de este punto estoy en deuda con el profesor Andrew Gleason.

su ajuste de último minuto en un sentido o en el otro, tiene una consecuencia irreversible por la cual se tiene derecho a decir sobre un fotón que fue producido largo tiempo antes de que hubiera alguna vida en el universo.

Por decirlo con otras palabras, estamos tratando con un acto elemental de creación. Llega al presente desde miles de millones de años atrás. Es erróneo pensar este pasado como «ya existente» con todo detalle. El «pasado» es teoría. El pasado no tiene existencia excepto si está grabado en el presente. Al decidir qué cuestiones pondrá en el presente nuestro equipo de registro cuántico, tenemos una innegable elección sobre lo que tenemos derecho a decir del pasado.

Lo que llamamos realidad consiste en unos cuantos postes observacionales de hierro entre los cuales rellenamos con una elaborada construcción imaginativa y teórica de cartón piedra (Gombrich, 1961). Aunque es útil bajo las circunstancias cotidianas decir que el mundo existe «ahí afuera» independiente de nosotros, esa visión no se puede sostener ya. Hay un extraño sentido en el que éste es un «universo participativo». ¿Son miles de millones sobre otros miles de millones de actos de participación para el observador el fundamento de todo? Estamos tan lejos como podemos estar hoy de conocer bastante el mecanismo del universo, a la hora de responder esta cuestión. Incrementar el conocimiento en detalle ha traído una creciente ignorancia sobre el plan. El mismo hecho de que podamos plantear una extraña pregunta muestra qué inseguros estamos sobre los fundamentos más profundos del cuanto y sus implicaciones últimas.

Encontrar el cuanto es sentirse como un explorador de un país lejano que ha encontrado por primera vez un automóvil. Está obviamente pensado para un uso, ¿pero qué uso? Uno abre la puerta, sube y baja la ventanilla, apaga y enciende las luces y, quizá, incluso gira el estárter, todo ello sin conocer el punto central de la cosa. El cuanto es el automóvil. Usamos el cuanto en un transistor para controlar la maquinaria, en una molécula para diseñar un anestésico, en un superconductor para fabricar un imán. ¿Podría ser que todo el tiempo hayamos estado perdiendo el punto central, el uso del fenómeno cuántico en la construcción del propio Universo? Hemos girado el estárter. No hemos puesto a andar la máquina.

Tres rasgos de la naturaleza dan más que otros la compulsión a analizar esta cuestión de múltiples facetas.

En primer lugar, cuanto más aprendemos sobre las leyes de la física, tanto más aprendemos qué poco hemos aprendido. El electromagnetismo, la gravitación y la teoría Yang-Mills sobre el campo de fuerza del cuark (Yang y Mills, 1954), el rendimiento de decenios de investigación, cientos de investigadores, y miles de experimentos, acaban siendo derivables de principios de simplicidad casi trivial. Uno es el principio de que el límite de un límite es cero (Misner y otros, 1973). El otro es el «principio de la incrustación» de Hojman y otros (1973) el requisito de que los campos y sus momentos en una futura hipersuperficie temporal se calculen con el mismo valor sea cual sea el orden de operaciones en llevar adelante tiempo multidigitado desde la hipersuperficie original. La propia simplicidad de tales consideraciones «simétricas» oculta el mecanismo tras las leyes de la física.

En segundo lugar, el Universo llegó a ser por una gran explosión, antes de la cual, según nos enseña la teoría de Einstein, no había un antes. No sólo habían llegado a ser en la gran explosión las partículas y los campos de fuerza, sino también las mismas leyes de la física, y esto por un proceso tan al tuntún como la mutación genética o la segunda ley de la termodinámica. ¡No había tableta de granito con las leyes grabadas en ella de antemano!

En tercer lugar, hay una razón por la cual la unidad constituyente última de la existencia llámesela fenómeno cuántico elemental, o mónada, o lo que se quiera tiene que ser de carácter intangible y ultramundano. Esa unidad constituyente y el proceso constituyente mismo tienen que trascender la categoría de tiempo. En el 1915 de Einstein, todavía el espacio-tiempo estándar, de la relatividad general probada en lucha, es la clásica historia de la geometría espacial experimentando su evolución dinámica en el tiempo. En la gravedad cuántica (Misner y otros, 1973, capítulos 43 y 44), la geometría-3 y su tasa temporal de cambio son, sin embargo, cantidades dinámicamente conjugadas. El principio de incertidumbre nos priva de cualquier medio para atribuir valores precisos a ambas cantidades en la misma hipersuperficie espacialoide. El espacio-tiempo, en conclusión, es la clásica teoría del espacio desarrollándose determinadamente en

el tiempo. El espacio-tiempo como historia de una geometría se puede comparar con el límite del mundo como la historia de una partícula. Ambos son idealizaciones clásicas. Ambos, como nos dice la teoría cuántica, son erróneos y ya no valen más que para pequeñas distancias y en pequeñas duraciones. Cuando uno trata con regiones del orden de magnitud de la longitud de Planck, $L = (hg/c^3)^{1/2} = 1,6 \times 10^{-33}$ centímetros, la teoría cuántica dice que las mismas ideas de antes y después pierden todo significado y toda aplicación. El tiempo no es una categoría primaria en la descripción de la naturaleza. Es secundaria, aproximada y derivada.

Hasta donde podemos ver hoy, ningún informe sobre el tiempo que presuponga el concepto de tiempo puede informar alguna vez sobre el tiempo o la existencia. De todas las razones para suponer que el fenómeno del cuanto elemental es realmente la propia unidad constituyente que considerar, una de las más impactantes es la circunstancia de que va dejando a un lado el tiempo, como vimos en el experimento de elección aplazada.

Ahí el contraste se da realmente entre los materiales constituyentes y los planes constituyentes del ordenador y el Universo.

DISTINGUIBILIDAD COMO PRINCIPIO OPERATIVO CENTRAL DEL ORDENADOR Y DEL UNIVERSO

Un ordenador sería expulsado de una oficina de negocios si no tuviera suficiente precisión para distinguir entre una ganancia y una pérdida; y el propio concepto de «Universo» sería imposible si no hubiera efectos físicos claramente distinguibles. La «distinguibilidad» es el principio sin el cual no queda nada del diseño informático. ¿Puede la distinguibilidad ser también el requisito central para un universo comprensivo y, de algún modo extraño e irrealizado, el manantial del principio cuántico? Esta cuestión no es el punto central de la fascinante tesis doctoral de Wootters (1980) pero es una motivación de su trabajo y es aludida allí.

En la figura 2 (tomada con permiso de Wootters), el láser a la izquierda es la herramienta del centinela para mandar señales a los cuarte-

les generales de la defensa, por medio de los dos contadores indicados que están millas a la derecha (una milla mide 1,609 metros), la dirección de llegada del enemigo. En el láser, «taponados», hay un millar de fotones de polarización lineal idéntica y ajustable. El centinela envía el láser a la orientación justa y aprieta el tapón en el instante en que ve la dirección de llegada. Los fotones, al llegar al prisma de Nichol, van al contador de «sí» y al contador de «no» en la proporción de 600:400 si en el momento hay una expectativa. Ordinariamente no la hay. Hay una salida cuadrática de significado raíz desde la idealidad —en un gran número de repeticiones en un ejercicio defensivo dado por $(600 \times 400 / 1.000)^{1/2} = 15,49$. Este número dice cuán diferente debe ser el valor de expectativa del contador de «sí» para que las dos direcciones se distingan confiablemente.

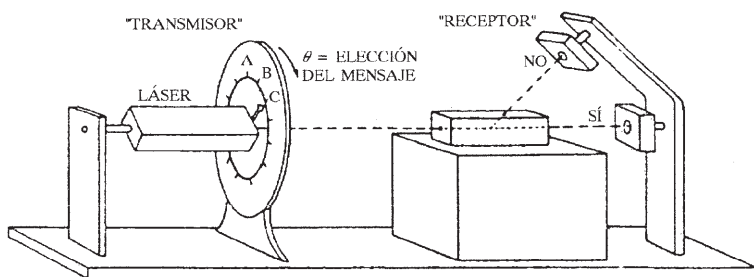


Figura 2.—Determinación de la dirección de polarización midiendo el número relativo de pasos a «sí» y a «no».

Wootters pregunta: ¿Cómo debe depender la probabilidad para un paso a «sí» del ángulo de polarización, e , si el sistema de defensa debe beneficiarse del máximo número de direcciones distinguibles? Formula y resuelve este problema con el cálculo de variaciones. La respuesta es simple. En un mundo con el máximo número posible de posibilidades distinguibles, la tasa de recuento debe variar como $\cos 2ne$. Sorprendentemente, la naturaleza está construida justo de esta manera, con $n = \sim$ para electrones y neutrinos, con $n = 1$ para fotones, y con $n = 2$ para gravitones. No está claro *por qué* la naturaleza desearía suministrar el máximo número posible de posibilidades distinguibles. Sólo es destacable

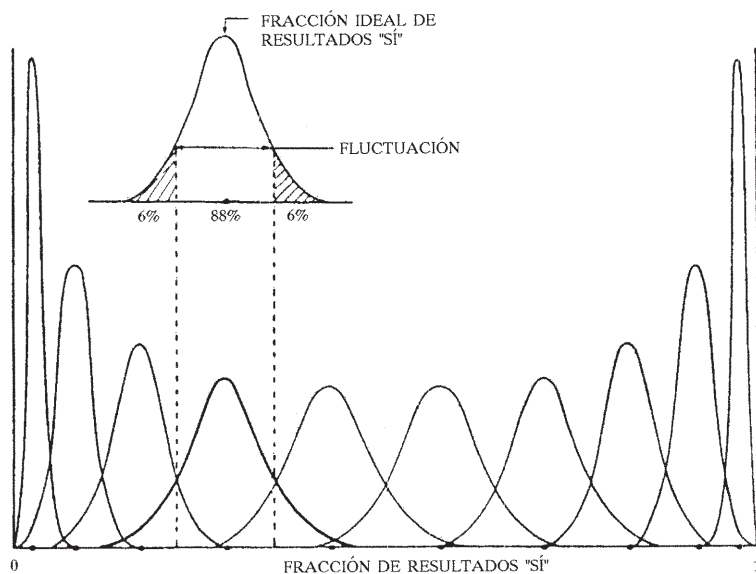


Figura 3.—Probabilidad de éste, aquél o el otro número de pasos a «sí» para los ajustes seleccionados de polarización fotónica desde el láser en la figura 2 (de W. K. Wootters).

que este simple «postulado de distinguibilidad» da un resultado estándar de la teoría cuántica sin apelar ni una sola vez a la teoría cuántica.

Otro tema de distinguibilidad, para mayor aclaración, se puede poner parecidamente en un contexto defensivo. Mi general me dice que es muy importante saber si la tribu enemiga que enfrentamos es la de los tores (que están comprometidos sin esperanza con la alianza opositora) o la de los edas (con los cuales conservamos una buena oportunidad de poder los ganar a nuestra causa por la persuasión). Ninguno de nosotros comprende los idiomas de estas dos tribus. Para distinguirlas sólo tenemos la diferente proporción entre ojos azules y grises en cada tribu (figura 4). El general me ordena dirigir una incursión y traer de vuelta suficientes cautivos para decirle a qué tribu nos enfrentamos y para decírselo con una probabilidad de doce contra uno. Si cometo un error, el general disparará contra mí, así que debo tomar suficientes prisioneros en la incursión. Pero si tomo demasiados, mis pérdidas en la acción serán grandes. Un simple análisis estadístico muestra, de acuerdo con Wootters, que debo tomar 16 prisioneros.

El problema para distinguir a los eolios de los boreales (de nuevo la figura 4), que eran las tribus enemigas, parece a primera vista mucho más difícil porque la diferencia entre las dos es mucho menor que entre los tores y los edas en el diagrama lineal de más arriba (hay dos diagramas en la figura 4), diagrama donde los ejes son las probabilidades P1 P2 y P3 de ojos grises, ojos azules y ojos castaños, respectivamente. De hecho, sin embargo, el mismo número de cautivos servirá para la misión.

Cuando uno retrasa la misma información estadística sobre las tribus con ejes que miden $P_1/2$, $P_2/2$ y $P_3/2$, lo que hubo sido un triángulo plano se transforma en un cuarto de esfera y las separaciones diferenciadoras miden esencialmente a la igualdad. Con otras palabras: la

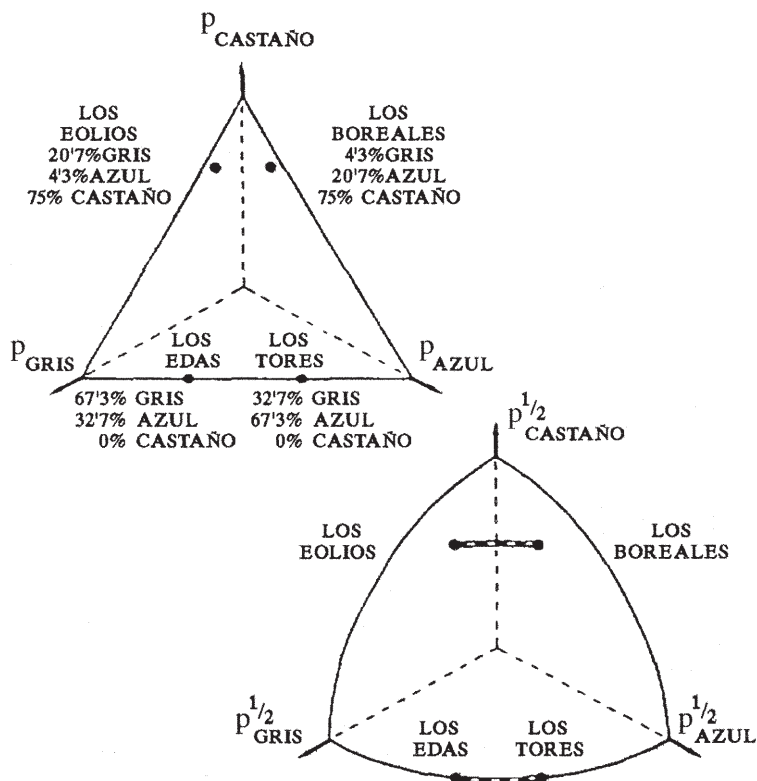


Figura 4.—Triángulo superior: probabilidades de ojos azules, grises y castaños para las tribus trazadas en el espacio de probabilidad tridimensional. Cuarto de esfera abajo: la misma información con unos ejes que significan «amplitudes de probabilidad» (de W. K. Wootters).

misma herramienta para el análisis de distinguibilidad en este nuevo contexto es la amplitud de probabilidad, no la probabilidad en sí —de nuevo un rasgo de la teoría cuántica sin la teoría cuántica.

Hace más de medio siglo, Fisher (1922), analizando la genética poblacional, descubrió las simplicidades que se podían obtener al describir la formación genética de una población donde los ejes son raíces cuadradas de probabilidades más que las probabilidades mismas. Wootters reconoció la analogía con el espacio de Hilbert de la mecánica cuántica. Llegó a derivar un resultado nuevo de la teoría cuántica: *la distancia en el espacio de Hilbert mide la distinguibilidad* (Wootters, 1981).

¿Ir más lejos y derivar la teoría cuántica de consideraciones de distinguibilidad? Nadie ve cómo. Nadie ve incluso cómo contar el uso natural de las amplitudes probabilísticas con valor complejo, más bien que las probabilidades reales o los cuaterniones. Sin embargo, la obra no publicada de Wootters revela una distinción tantálica entre espacios de Hilbert basados en sistemas numéricos de las tres clases. Consideremos un número muy grande de estados cuánticos, punteados sobre la esfera espacial de Hilbert con densidad uniforme. A cada estado cuántico corresponde un punto en el triángulo del espacio de probabilidad P_1 P_2 y P_3 de la figura 4, o un simple apropiado si el espacio de Hilbert tiene una dimensionalidad más alta. La distribución de los puntos sobre este simple es uniforme si el sistema numérico es complejo. Wootters informa de este resultado para un hallazgo de Sykora (1974), pero para un sistema numérico real se concentra hacia los bordes del simple, y para los cuaterniones hacia su centro. Con otras palabras: el sistema numérico de la mecánica cuántica es tal —muestra Wootters— que la completa aleatoriedad sobre la esfera de Hilbert da una completa aleatoriedad en el simple de probabilidad.

La distinguibilidad tiene otro rasgo: implica medida. La medida —para un proceso cuántico elemental— sólo ha sido realizada cuando, en palabras de Bohr (Bohr, 1958), el fenómeno ha sido «traído a un cierre», por un acto de «amplificación irreversible». Sólo entonces existe de cierto la posibilidad de comunicar el hallazgo a otro en «lenguaje llano» (Bohr, 1963). La comunicación, a su vez, es una precondition para establecer significados [véase, por ejemplo, a Follesdal (1975)].

Es imposible dar un significado al término *camino del fotón* en el experimento de división lumínica de la figura 1 justo por el registro del fotón en uno u otro de los dos contadores. Además, lo que trae el fenómeno a un cierre podría haberse pospuesto moviendo los contadores más a la derecha y poniendo muchos más espejos a través del sendero. Una disposición similar es posible en los experimentos multiplegados de Stern-Gerlach de radiación atómica, sobre la orientación de un momento magnético, pero en todo caso tiene que haber eventualmente un acto irreversible si ha de darse algún resultado significativo. A este respecto, este mundo cuántico muestra una llamativa analogía con el ordenador. Como ha notado Bennet (1973, y véase también la conclusión precursora de Keyes y Landauer en 1970), también el ordenador se puede diseñar en principio para ser tan cerrado a la reversibilidad como uno desea. De nuevo, sin embargo, el vagabundeo de información reversiblemente atrás y adelante queda desprovista de significado hasta que es capturado al final por un proceso irreversible. Evidentemente, debemos tener un mundo irreversible si vamos a tener un mundo de distinguibilidad y significado.

MÁS ES DIFERENTE

El gran crecimiento de la capacidad de proceso numérico, desde el ábaco hasta el ordenador de hoy, ha aportado una evolución paulatina de la arquitectura informática. También ha forzado a una especialización funcional en el ordenador prevista por von Neumann (1958) que recuerda a las extremidades, a los sensores ya los órganos de un animal o a las partículas, a los campos y al espacio-tiempo del Universo. «Más es diferente»⁴ ha sido largo tiempo un tema guía de la física multicorporal. Es espectacularmente apropiado para toda forma compleja de vida y para todo ordenador complejo. ¿Es también la llave de la estructura del Universo? Allí, miles de millones sobre miles de millones de «fenómenos cuánticos elementales» o «actos elementales de participación observa-

⁴ Doy las gracias a P. W. Anderson por esta frase.

cional» entran en juego. ¿Fuerza la monstruosidad real de estos números a la especialización de estructura y función que llamamos «física»?

Una cosa es plantear estas preguntas, y otra totalmente diferente encontrar una vía para analizarlas. En cualquier otro problema de grandes números tenemos entidades que podemos tocar y reglas para moverlas alrededor, y un entorno preexistente en el que realizar el movimiento. Aquí, sin embargo, comenzamos con una austeridad casi terrorífica: sin tiempo, sin espacio, y sin ley. El elemento formativo es el fenómeno del cuanto elemental «sí o no». Es una entidad abstracta. No está localizado en el espacio ni en el tiempo. Su interior es inescrutable, intocable. La combinatoria de tales entidades es un nuevo y rico problema. Al considerar este problema hay una propensión a describir uno por uno los campos del conocimiento donde otras entidades llegan a funcionar en grandes números; pero entre todas ellas es difícil citar una con discernimiento más relevante que la teoría de los ordenadores y de la información en general. ¿No apoyaremos la tradición de Leibniz, Kant, Mach, Godel y von Neumann si suponemos que algún día comprendemos «la física como información»⁵?

El descubrimiento del cuanto por Planck en 1900 produjo un resquebrajamiento en la coraza que aún cubre el profundo y secreto principio de la existencia. En la explotación de esta abertura nos encontramos en el principio, no en el final.

REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA ORIGINAL DEL ARTÍCULO)

Bennett, C. H. (1973): *Logical Reversibility of Computation*.

Bohr, N. (1949): «Discussions with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics», in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, P. A. Schilpp (ed.), pp. 201-241, Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois.

Bohr, N. (1958): *Atomic Physics and Human Knowledge*, p. 73; Closed by irreversible amplification; p. 88 («irreversible amplification»), Wiley, New York.

Bohr, N. (1936): *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, pp. 3, 5, 6, Wiley, New York.

⁵ Esta frase fue usada por E. Fredkin en la conferencia donde se repartió este escrito.

- Bronowski, J. (1973): *The Ascent of Man*, p. 22, Little, Brown and Company, Boston.
- Einstein, A. (1933): *On the Method of Theoretical Physics*, Oxford University Press, New York; reprinted in *Philosophy of Science*, 1, 162 (1934).
- Fisher, R. A. (1922): *Proceedings of the Royal society*, Edinburgh, 42, 321 (1922).
- Follesdal, D. (1975): «Meaning and Experience», in *Mind and Language*, S. Guttenplan (ed.), pp. 25-44, Clarendon Press, Oxford.
- Forsee, A. (1963): In *Albert Einstein, Theoretical Physicist*, p. 81, New York.
- Gombrich, E. H. (1961): *Art and Illusion: A Study in the Psychology of the Pictorial Representation*, pp. 273, 329 and 394, especially, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Herneck, F. (1979): «Die Beziehunggen zwischen Einstein and Mach, dokumentarisch dargestellt» (correspondence in the original German) *Einstein und sein Weltbild*, pp. 109-115, Der Morgen, Berlin (1979).
- Hojman, K., Kuchar and Teitelboim, C. (1973): «New Approach to General Relativity», *Nature (London) Physical Science*, 245, 97, 98.
- Kant, I. (1781): *Kritik der reinen Vernunft*, second enlarged edition (1787).
- Keyes, R. W. and Landauer, R. (1970): «Minimal Energy Dissipation in Logic», *IBM Journal of Research and Development*, 14, 152-157.
- Leibniz, G. W. (1908): «Refutation of Spinoza», in *The Philosophical Works of Leibniz*, translated G. M. Duncan, second revised edition, pp. 264-273, Yale University Press, New Haven, Connecticut. written about 1708 as *Animadversiones ad Johannem George Wachteri librum de recondita Hebraeorum philosophia*.
- Leibniz, G. W. (1962): In *Leibniz: Basic Writings*, translated G. R. Montgomery, Open Court Publishing, La Salle, Illinois, written in 1714 as «La Monadologie», in *Leibnitii Opera Philosophica quae extant Latina, Gallica, Germanica Omnia*, J. Erdmann (ed.), pp. 705-712, Berlin (1840).
- Mach, E. (1886): *Beitrage zur Analyse der Empfindungen*, Jena (1906), *Die Analyse der Empfindungen*, fifth reviewed edition.

REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA EN CASTELLANO)

- Bohr, N.: *Física atómica y conocimiento humano*, Aguilar, Barcelona, España, 1964.
- Bohr, N.: *La teoría atómica y la descripción de la Naturaleza*, Alianza Editorial, Madrid, España, 1988.
- Capra, F.: *El tao de la física*, Luis Cárcamo, Madrid, España, 1984.
- Capra, F.; Dass, R.; Goleman, D.; Tart, C.; Wilber, K. y otros: *Más allá del ego*, Kairos, Barcelona, España, 1980.
- De Bono, E.; Illich, I. y otros: *Para Schumacher*, H. Blume, Madrid, España, 1981.

- Davies, P. C. W.: *El espacio y el tiempo en el Universo contemporáneo*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México, 1998.
- Einstein, A.: *El significado de la relatividad*, Planeta-Agostini, Barcelona, España, 1985.
- Einstein, A.: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, Alianza Editorial, Madrid, España, 1996.
- Heimendahl (coord.): *Física y filosofía*, Guadarrama, Madrid, España, 1969.
- Horgan, J.: *El fin de la ciencia*, Paidós, Barcelona, España, 1998.
- Kant, I.: *Crítica de la razón pura*, Porrúa, Ciudad de México, México, 1996.
- Kuhn, T. S.: *La tensión esencial. Estudios sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, México, 1998.
- Leibniz, G. W.: *Monadología*, Alharobra, Madrid, España, 1990.
- Leibniz, G. W.: *Nuevos ensayos sobre el entendimiento humano*, Alianza Editorial, Madrid, España, 1992.
- Mach, E.: *Análisis de las sensaciones*, Alta Fulla, Barcelona, España, 1987.
- Rivera de Rosales, F.: *Kant: la «Crítica del Juicio Teleológico» y la corporalidad del sujeto*, Universidad Española de Educación a Distancia, Madrid, España, 1998.

Analogía de la ley de Coulomb con la ley de Newton

Agradecimientos

La ley de Coulomb presenta una notable analogía con la ley de Newton como puede verse comparando sus respectivas expresiones matemáticas:

$$F = k \frac{M \times n}{E \times r^2}$$

$$F = k \frac{Q \times Q'}{E \times r^2}$$

Ambas leyes muy parecidas, son iguales: nos dan el valor de la F con que una masa material M o una masa eléctrica Q actúan a distancia sobre otra masa de su misma naturaleza. Las diferencias entre ambas leyes no existen: las acciones entre masas materiales son también de atracción y repulsión como las acciones entre masas eléctricas. Nosotros como estamos dentro del Campo Gravitatorio del hemisferio Norte que es muy grande no podemos abarcar el hemisferio Sur que es el polo opuesto. Para hacer el experimento tendrían que unir un cable desde el polo Norte al polo Sur para comprobar la atracción y la repulsión.

Nosotros podemos manejar los imanes, juntar polos positivos con negativos obteniendo la atracción. También podemos juntar polos positivos con polos positivos y polos negativos con polos negativos, entonces obtendremos la fuerza repulsiva. Pero no podemos manejar los polos mag-

néticos de la Tierra. Si fuera posible, entonces podríamos comprobar la atracción y repulsión, experimentando con otros astros, igual que lo hacemos con los imanes.

Cada cuerpo que es atraído por la Tierra es de signo contrario a la misma.

Las acciones entre masas materiales son de atracción y repulsión igual que las acciones entre masas eléctricas, pero siempre que las masas materiales sean de igual o semejante volumen. Podemos hacer la prueba: si juntamos un imán grande con un imán pequeño, éste siempre será atraído por el imán grande. Lo mismo le sucede a cualquier cuerpo (imán pequeño) que es atraído por la Tierra (imán grande).

Sin embargo, si juntamos dos imanes iguales o semejantes por el mismo polo se rechazarán.

Las acciones entre masas materiales también dependen del medio interpuesto igual que las acciones entre masas eléctricas. Con masas materiales tan grandes como los astros no se puede apreciar el medio interpuesto. Además que, entre astros existe un vacío absoluto.

Las relaciones entre el ordenador, cerebro y mundo son íntimas. Son relaciones de procedencia, de generación. La Tierra engendra el cerebro a su imagen y semejanza y el hombre hace lo mismo con el ordenador. Tal vez, con el tiempo el ordenador (realice) imite al hombre. Son relaciones de paternidad.

El software y el hardware

No se puede separar el conjunto software-hardware, tanto en informática, como en el hombre y en el Universo. En el ordenador el software es la información, el programa que necesita para que funcione, la información necesita del hardware para ser procesada. Uno sin otro no se concibe. La información interesante es almacenada (memoria), para utilizarla cuando se necesite. El hardware también necesita del software para ser útil, para funcionar.

En el hombre sucede lo mismo, La información que entra por los sentidos es conducida al cerebro por el sistema nervioso, para ser procesada, La información no puede ser procesada sin el cerebro y éste sin información no puede funcionar, Luego se complementan; se necesitan; no se pueden separar. Forman una unidad inseparable.

En el Universo pasa lo mismo. La información es la luz y calor que, procedente del Sol, recibe la Tierra, que procesa esta información, la guarda (memoria) y la aprovecha en el crecimiento de las plantas, animales y hombres, luego el Universo funciona como un ordenador. El Sol envía la información que recibe la Tierra, que la procesa, y la aprovecha para el crecimiento, desarrollo y evolución de la misma. Luego el Sol y la Tierra forman un conjunto inseparable.

LA MEMORIA ARTIFICIAL

La memoria del ordenador es artificial, hecha por el hombre. Memoria es información almacenada, guardada, reservada para cuando sea necesaria y para cuando se precise echar mano de ella. El ordenador tiene una sola memoria, aunque se puede ampliar. La memoria ROM es la que trae o lleva el ordenador interiormente desde la fábrica. Parte de ella está ocupada por el lenguaje, sea Basic o cualquier otro lenguaje, y la otra parte permanece virgen, como la del niño para ser ocupada por la información que venga del exterior. El niño lo primero que aprende es el lenguaje que le sirve de medio para comunicarse con el mundo exterior y recibir la información necesaria. La máquina también aprende un lenguaje para recibir la información y para entenderse y comunicarse con el exterior. Esta es otra semejanza y relación del ordenador con el cerebro. Comparando uno con el otro, se observan las relaciones, semejanzas e igualdades entre ambos.

La memoria RAM: es la que se puede añadir a la memoria ROM que lleva el ordenador desde la fábrica, desde el origen. Se puede ampliar la memoria de la máquina en cas de memoria para ejecutar un programa mayor. Sin embargo, la memoria del cerebro no se puede ampliar como lo hace el ordenador. Se podría ampliar mediante una intervención quirúrgica, uniendo la memoria del cerebro con otros cerebros mediante fibras ópticas o materias más apropiadas para transmitir información de unos a otros. Pero parece que esto es, todavía temprano; tal vez mañana, en un futuro próximo, se pueda llevar a cabo.

Otra desigualdad del ordenador con el cerebro en cuanto a memoria es que el hombre posee memoria constructiva que es su semilla, capaz de construir otro cerebro. Sin embargo, el ordenador no posee esta semilla ni capacidad. La posee su constructor que es el que puede construir otro ordenador igual o semejante.

LA MEMORIA HUMANA

La memoria humana es natural, que va adquiriendo el hombre conforme crece, desde su nacimiento y archivando en su cerebro las infor-

maciones más interesantes de su vida. Es como un tesoro que guarda en su caja fuerte. La memoria del hombre es información de los actos más importantes de su vida; en cualquier momento puede hacer uso de ella para su provecho. Es como una película de su vida. Pero como todos los detalles de la misma no le interesan, además que no cabrían en su cerebro, selecciona todo lo más interesante. Es una reproducción de su vida. Es una fotocopia de su vida.

Se puede aumentar la memoria humana mediante una intervención quirúrgica conectándolo con otros cerebros y también con la memoria artificial. Pronto será posible este aumento de memoria en el hombre que buena falta le hace sobre todo en la senectud y en los niños. Hay reglas nemotécnicas que ayudan a recordar. También hay falta de memoria que se llama amnesia parcial o total. La memoria es la primera, la más importante facultad del cerebro, de la mente humana. El hombre tiene dos memorias: la natural que es el código genético que producirá el ordenador humano y la adquirida, que guarda en la memoria.

¿Tiene también el mundo dos memorias? Parece que sí. Una es la memoria superficial que es copia de la memoria central y son las semillas de los vegetales y animales que viven en la superficie del planeta. Esta es relativamente temporal, es decir, mientras dure el Sol. La otra memoria es central, está localizada en el centro de la Tierra. Es el centro de datos, el original. Es más duradera, es eterna. Es el control de la memoria.

LA INTELIGENCIA

El ordenador propiamente no tiene inteligencia, pero ayuda a la inteligencia del hombre. Es su ayudante por su rapidez y cantidad. El hombre es más lento. El nivel de la inteligencia del ordenador es parecido al de los animales. Se tiende a igualar y superar a la inteligencia del hombre, pero actualmente está en plantillas, en edad infantil, con la quinta generación de ordenadores. La inteligencia artificial tiende a igualar y superar a la del hombre. Así como hay varios niveles de inteligencia,

según la edad del hombre, así también hay distintos niveles según la Humanidad.

También la Humanidad conforme pasan los años avanza en inteligencia como el niño. También tiene su ciclo. La inteligencia es función de la memoria, depende de la misma. Cuanta más memoria tenga, más información obtendrá. Si a la inteligencia le falta algún dato no funcionará bien. Por eso, al llegar a la vejez falla la memoria; se parece a la del niño que tiene poca memoria. El anciano porque no se acuerda y el niño que no sabe todavía, se parecen y coinciden en los mismos niveles. El niño tiene poca memoria, porque la tiene virgen y potencial de retentiva. El anciano, en cambio, tiene una memoria envejecida, saturada, dura, endurecida, y con poca capacidad para aprender. La masa encefálica se encuentra grabada de datos e información obtenidos a través de su experiencia y ya ha completado su ciclo. Está en razón inversa a la del niño. La inteligencia es la capacidad de ordenar, de coordinar los datos de la memoria. Es colocar cada pieza en su lugar correspondiente.

Como el cerebro humano (la memoria) es una fotocopia del mundo, la inteligencia humana también es una imitación de la inteligencia mundial. La memoria y la inteligencia del hombre son más rápidas que las del mundo, así como las de las máquinas son más rápidas que las del hombre. Será por que son más pequeñas. Tienen que recorrer circuitos más pequeños y conectan con mayor rapidez. En los del mundo son más grandes y se tarda más. Razón directa. Luego la memoria y la inteligencia del hombre son copias de las del mundo. La inteligencia es la segunda facultad o capacidad de la mente. La primera es la memoria que es la base.

LA MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica comienza el ciclo a partir de la semilla que es la memoria. La inteligencia es energía. La semilla es el código, el programa, la memoria, la base. La semilla necesita para germinar a la Tierra, alimentos, abonos, es decir, de energía para desarrollarse; esta ener-

gía viene a ser la inteligencia que necesita el programa para ser desarrollado y la decisión, el fin del desarrollo, viene dado por el fruto (semilla). Una semilla produce otra semilla para continuar el ciclo eterno.

EL CICLO DE LA MATERIA INORGÁNICA

Por nuestra experiencia, tenemos una idea acerca de los estados físicos de la materia y sabemos que son cuatro: plasma, gaseoso, líquido y sólido. Así mismo, sabemos que estos estados dependen de la temperatura que tenga el cuerpo, o grado de calor a que estén sometidos los cuerpos. Por consiguiente, cuando la temperatura varía, el cuerpo adopta un estado distinto, es decir, experimenta un cambio de estado. Son múltiples las aplicaciones que tienen los cambios de estado, aplicación a los frigoríficos, etc. Vamos a estudiar con más detalle todos estos fenómenos viendo las leyes físicas por las que se rigen.

ESTADOS FÍSICOS DE LA MATERIA

El primer estado físico de la materia es el estado de plasma, que tiene lugar a temperaturas elevadísimas, cuando la agitación térmica ioniza completamente los átomos, o se les arrancan todos los electrones. El hombre trata de reproducir en el laboratorio tal estado físico, aunque tropieza con grandes dificultades, porque trata de hacer un Sol artificial. Tiende a expansionarse continuamente. La cohesión es mínima.

El segundo estado de la materia es estado gaseoso y se caracteriza por su forma y su volumen que varían, adoptando la forma y el volumen de la vasija en que están contenidos. Son extraordinariamente compresibles y elásticos y tienden a expansionarse continuamente con separación cada vez mayor de sus moléculas. En los gases, la cohesión es muy pequeña, sin embargo es muy grande la energía cinética de agitación constante de sus moléculas, de lo que resultan los continuos choques entre ellas y también contra las paredes del recipiente que los contienen. Lí-

quidos y gases presentan varias propiedades comunes, siendo la más notable la fluidez, o propiedad por la que sus moléculas resbalan. Atendiendo a estas propiedades, a los gases y líquidos se les denomina fluidos.

El tercer estado de la materia es el estado líquido. Presenta como características principales el que su forma varía, adoptando la que tiene la vasija o recipiente que lo contiene, pero su volumen permanece constante. Sus moléculas están dotadas de gran movilidad y son muy difíciles de comprimir (prácticamente son incompresibles). La superficie libre de los líquidos, en masas pequeñas, es siempre plana y horizontal. La fuerza de cohesión se manifiesta en los líquidos, pero su valor es mucho menor que en los sólidos. Eso hace que las moléculas no estén íntimamente unidas y resbalen unas con otras.

El estado sólido

Se caracteriza porque el cuerpo que tiene este estado, no cambia de forma y su volumen es siempre el mismo; decimos que los sólidos tienen forma y volumen constante.

Se explican los caracteres de los cuerpos sólidos admitiendo que las moléculas, o diminutas partículas que forman el cuerpo, están fuertemente unidas entre sí por una fuerza llamada cohesión, de naturaleza eléctrica y se manifiesta dentro de un determinado radio de acción alrededor de la molécula, disminuyendo rápidamente conforme se aleja de ella.

En la mayoría de los sólidos las moléculas u otras partículas que los componen están perfectamente ordenadas, constituyendo lo que se llama una estructura cristalina. Con frecuencia, esta estructura íntima se manifiesta al exterior haciendo que el cuerpo tenga forma de un poliedro, que recibe el nombre de cristal. Infinidad de sólidos naturales entre los que se encuentran la sal común y el azúcar, como muy corrientes, tienen esta estructura y, antes de ser pulverizados para el consumo, son verdaderos cristales.

Otros sólidos presentan sus moléculas sin ningún orden; se llaman cuerpos amorfos. Así ocurre en la cera, arcilla y otros muchos casos.

Cambios de estado

Estos cambios de estado son debidos al calor absorbido, que provoca un aumento de la energía cinética de las partículas (moléculas, átomos) que forman el cuerpo.

Vaporización

Así se llama el paso de un cuerpo líquido a estado gaseoso. La vaporización presenta dos formas: evaporación, si se produce el cambio de estado solamente en la superficie del líquido y ebullición, si se produce la vaporización en toda la masa.

En la evaporación, según va aumentando la temperatura aumenta la llamada tensión de vapor, por la que se desprenden moléculas de la superficie que pasan al estado gaseoso. Este desprendimiento produce una disminución de temperatura y para que continúe el proceso es necesario aplicar al líquido más calor.

Se puede producir una evaporación en el vacío poniendo al líquido en condiciones adecuadas, o producir la evaporación en el seno de otro gas, como ocurre en el aire. Lo que más nos interesa estudiar es la evaporación en el seno de un gas, que es la que continuamente se produce en los mares, lagos, ríos, etc.

Esta evaporación se favorece, primero, si aumenta la superficie, ya que aumentan las posibilidades de ponerse en contacto mayor número de moléculas con el exterior; segundo, si aumenta la temperatura, porque también aumenta la tensión de vapor y, tercero, al producirse viento, porque retira las moléculas de vapor que se han formado, dejando espacio libre para ser ocupado por nuevas moléculas.

Fusión

Es el paso de estado sólido a líquido producido por el calor absorbido. Se distinguen dos tipos de fusión. En la llamada fusión franca, produce un cambio brusco de sólido a líquido cuando se alcanza la tempe-

ratura necesaria. Esta forma de fusión la presentan la mayoría de los cuerpos, como el estaño, plomo, cinc, hielo, etc.

En algunos cuerpos, como el vidrio, hierro, ceras, grasas, a medida que se les va comunicando calor, se ablandan y adoptan una serie de estados intermedios entre el verdadero sólido y el verdadero líquido, que se llaman estados pastosos, y se dice que estos cuerpos tienen fusión pastosa. Veremos principalmente, la fusión franca.

Calor de fusión

Se llama así la cantidad de calor, expresada en calorías, necesaria para fundir un gramo de una determinada substancia cuando se encuentra a la temperatura de fusión.

Leyes de la fusión

La fusión se produce en los cuerpos cumpliendo determinadas leyes, que son las siguientes:

- 1.º Para una misma presión, cada cuerpo funde a una temperatura determinada, que se llama punto de fusión.
- 2.º Mientras se está produciéndose la fusión, la temperatura permanece constante.

La segunda ley no es válida en la fusión pastosa, pues, la temperatura allí aumenta conforme se produce la fusión. Variaciones de volumen en la fusión. Sus consecuencias: casi todos los cuerpos aumentan su volumen al fundirse. Pero hay algunos, entre los que se encuentran el hierro y el hielo, que al fundirse disminuyen de volumen. Normalmente, al fundirse una substancia, el sólido aún sin fundir queda en el fondo y la parte fundida, encima. Pero en el caso del hielo y del hierro, como al fundirse hay una disminución de volumen se produce un aumento de densidad, por lo que el líquido fundido irá al fondo y el sólido aún sin fundir flota encima de él.

Influencia de la presión en el punto de fusión

Existe una relación entre el punto de fusión o temperatura necesaria para que el cuerpo funda, y la presión que sobre él actúa, de manera que al aumentar la presión disminuye el punto de fusión.

Podemos observarlo fácilmente con el hielo y comprobar que al aumentar la presión (dando golpes fuertes sobre él) el hielo se funde a la temperatura en que antes se encontraba en estado sólido.

Así se explica el curioso fenómeno llamado rehielo que se señala en las ilustraciones, ya que al aumentar la presión hace que el hielo se funda, y al disminuir se solidifica de nuevo.

Si comparamos y relacionamos la materia orgánica y la materia inorgánica podemos observar las siguientes igualdades y similitudes:

- 1.º El ciclo de la materia orgánica comienza por la semilla, que es el programa, el origen, la mínima expresión donde se contiene toda la información necesaria para formar con la ayuda de la energía necesaria bien un árbol, bien un animal.

El ciclo de la materia inorgánica debe empezar también por la mínima expresión, la mínima cantidad de materia necesaria para dar origen y principio de toda la demás materia. Esa mínima cantidad de materia es el hidrógeno, que contiene un electrón y un protón. Una carga negativa y otra positiva para mantener un equilibrio, lo mismo se hace con los cromosomas masculinos y femeninos forman la primera célula viviente. Lo mismo sucede en la materia inorgánica un electrón y un protón forman el primer átomo de materia que es el hidrógeno. Los electrones y protones equivalen a los cromosomas, que vienen a ser las partículas, lo mismo que los genes. Está comprendido que la materia cuantos más grados de calor esté sometida menos cohesión tendrá.

Si comparamos el alfabeto Morse con el alfabeto de la materia, es decir, con los elementos que forman la materia, veremos las siguientes semejanzas:

1. Punto (.) y raya (-) es parecido a la estructura del hidrógeno: positivo (+) y negativo (-). Para la formación del siguiente ele-

mento sería (..) y (--). Para la formación del helio (++) y (--) y así sucesivamente hasta formar la última letra del alfabeto y hasta formar el último elemento de la tabla periódica.

2. Con las células sucede lo mismo, porque se van multiplicando, hasta formar órganos y todo el cuerpo.

Punto de ebullición de algunos elementos

Agua	100 °C
Yodo	180 °C
Azufre	450 °C
Plomo	1.750 °C
Plata	2.200 °C
Aluminio.....	2.320 °C
Oro	2.660 °C
Platino.....	4.010 °C
Wolframio	5.900 °C

NOTA: El osmio debe tener el punto de ebullición más alto (más de 6.000 °C), ya que es el elemento más pesado de todos.

CICLO DEL AGUA

Los efectos que produce el calor en el agua haciendo que pase por distintos estados físicos y los cambios de estado correspondientes, dan lugar a una serie de fenómenos naturales, como son aumento y concentración de vapor en la atmósfera; formación de nubes; producción de la lluvia, nieve, granizo; caída del agua y formación de torrentes, ríos y demás aguas superficiales y subterráneas y posterior evaporación de estas masas de agua. Así se produce lo que se llama un ciclo o repetición de los mismos fenómenos siguiendo un sentido determinado, para volver de nuevo a empezar una vez alcanzada una fase final.

El ciclo del agua empieza con la evaporación, debida al calor Solar, junto con el vapor arrojado por las plantas en el acto de la transpiración y por los animales en la expiración. En sitios donde hay masas de nieve o hielo, se produce también una sublimación, pasando el hielo directa-

mente a vapor. El vapor de agua pasa a la atmósfera. Como el vapor de agua es poco denso, va ascendiendo.

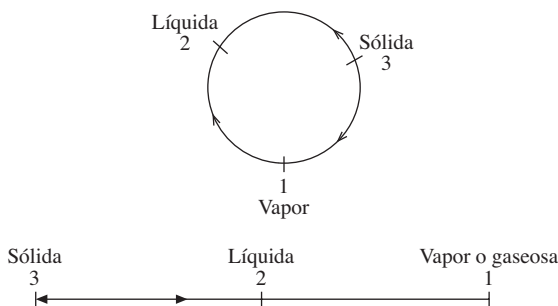
Al elevarse pasa a zonas donde las temperaturas son cada vez más bajas hasta que termina pasando a líquido, o sea que sufre el proceso de licuefacción. De esta forma se producen diminutas gotas de agua.

Como las gotas formadas son más densas, descienden lentamente debido al rozamiento con el aire. Conforme van descendiendo, vuelven a pasar por zonas donde la temperatura es más alta, hasta que llega un momento en que vuelven a evaporarse. Entonces volverán a ascender y se repetirá lo anterior.

Así se forma una nube, que no es sino una masa de vapor de agua concentrado y gotitas diminutas de agua líquida, situadas entre dos capas de la atmósfera: una superior cuya baja temperatura hace que el vapor se licúe; otra inferior, de temperatura suficientemente alta para que las gotitas de agua se evaporen.

Cuando se produce un descenso de temperatura en la capa inferior, las gotitas siguen descendiendo; conforme lo hacen, aumentan de tamaño al juntarse unas con otras y al final son tan pesadas que caen a la superficie terrestre produciendo la lluvia.

En ocasiones el descenso de temperatura es muy grande y las gotitas se congelan formando cristallitos de hielo entrecruzados con mucho aire, es la nieve. Si el descenso de temperatura se produce muy bruscamente, por las rápidas corrientes de aire frío, se produce la congelación rápida en forma de granos densos de hielo, que caen con fuerza a la Tierra y producen grandes daños. Esto es el granizo.



El motor: el calor del Sol, según se da más o menos calor, el agua pasa de un estado a otro.

NUESTRO ORDENADOR OMNIPOTENTE

Hemos sido creados con un cerebro, que es un superordenador biológico en el que brillan los circuitos de mil ciudades. Existen más de 10.000 millones de neuronas en la corteza cerebral humana, ordenadas siguiendo pautas definidas, y se ha dicho que en cualquier momento dado tienen lugar en nuestro cerebro entre 100.000 y 1.000.000 de reacciones químicas.

Se han establecido comparaciones entre el cerebro humano y uno de los ordenadores más grandes del mundo, el Cray. Por ejemplo, este ordenador, aun trabajando a razón de 400 millones de cálculos por segundo durante 100 años, sólo conseguiría hacer lo que puede hacer nuestro cerebro en un minuto. Es inconcebible que una red tan increíble, de una complejidad tan extraordinaria, esté dentro de nosotros con el mero fin de ocuparse de funciones físicas. Este es el núcleo que nos ha dado la tecnología de la era espacial, la informática, los inventos increíbles, las ciencias, las artes y las grandes composiciones. Es un centro emisor y receptor que ha incubado todo lo que hemos conocido, todo lo que utilizamos hoy y todo lo que utilizaremos en el futuro. ¿Duda usted que esta masa de un kilo y tres cuartos de materia gris que todos llevamos encima pueda traerle todo lo que desea? Claro que puede. Usted debe empezar a reconocer su propio poder como individuo; a reconocer que todo aquello en lo que ponga a trabajar su mente se convertirá en una realidad, y que aquello en lo que no ponga a trabajar su mente no se convertirá en una realidad. Es una sencilla cuestión de elección.

Nuestro cerebro, que está compuesto de diez billones de piezas activas, tiene la capacidad de almacenamiento suficiente para aceptar diez datos nuevos por segundo. Se ha estimado, con cálculos prudentes, que el cerebro humano puede almacenar una cantidad de información equivalente a 100 billones de palabras, y que cada uno de nosotros no utiliza más que una parte minúscula de esta capacidad de almacenamiento. Es una herramienta potente, y usted puede optar por dedicarla a aplicaciones increíbles que no ha considerado hasta ahora. Le ruego que lo tenga presente mientras recorre las páginas de este libro intentando adoptar nuevas maneras de pensar.

COSMOLOGÍA

Heliometría

Etimologicamente heliometría viene de dos palabras griegas; *helios*, que significa Sol, y *metría*, medida. Parte de las matemáticas que trata de las propiedades y medida de la extensión del Sol. Se divide en heliometría de la superficie del Sol y en heliometría del interior del Sol.

En el Sol las fuerzas son centrífugas para que lleguen a la Tierra. van desde el centro del Sol hacia la superficie en todas las direcciones de un modo controlado como una central nuclear para que dure el máximo tiempo posible según sus dimensiones solares y para que se complete el ciclo de la Tierra y de los demás planetas.

Las radiaciones del Sol son fuerzas centrífugas, contrarias a la gravedad. los elementos que constituyen el centro del Sol son el plutonio, el radio y los otros elementos radiactivos. el Sol es como una central nuclear. el Sol debe tener la forma de una elipse con dos focos: uno positivo y otro negativo, como las baterías, las pilas. los elementos desde el hidrógeno hasta la plata son integrantes, constituyentes y centrípetos. estos elementos forman principalmente la Tierra, ya que son integrantes de la misma. desde la plata que tiene el número 47 de la tabla periódica hasta el que ocupa el puesto 103 y puede haber en el Sol otros elementos radiactivos que no se encuentran en la Tierra, pero que pueden hacerse artificialmente; y forman el interior del Sol. estos elementos son desintegrantes que dan luz y calor a la Tierra y a los otros planetas. es el motor de los mismos. La heliometría trata de las fuerzas, energía.

GEOMETRÍA

La palabra geometría viene del griego, *geo*, significa Tierra, y *metría*, medida. La geometría es parte de las matemáticas que trata de las propiedades y medida de la extensión de la Tierra. De forma más concreta se puede decir que la geometría trata de las propiedades, medidas

y relaciones entre puntos, líneas, ángulos, superficies y cuerpos de la Tierra. Se divide en geometría del plano y geometría del espacio.

Historia

La geometría tuvo su origen en Egipto hacia el año 1700 antes de Cristo y su desarrollo se debió a los problemas que se les plantearon en la medición de terrenos. Hacia el año 600 antes de Cristo Tales de Mileto la introdujo en Grecia.

En la Tierra las fuerzas son centrípetas. Van desde la superficie hasta el centro de gravedad. La Tierra es como un imán que va perdiendo su fuerza de atracción conforme los cuerpos se alejan del centro, según la fórmula $f = m \times m/d \times d$. Como la Tierra es un imán debe tener la forma de una elipse con 2 focos, uno positivo y el otro negativo. La gravedad tiene una finalidad que es establecer el equilibrio estable para que pueda ser habitada; es como un edificio bien construido. La Tierra es la mejor construcción que se puede hacer y la más permanente. El origen de la Tierra es procedente del Sol y el Sol procede de la galaxia Vía Láctea. Tiene su principio y su fin como todas las cosas. Tiene su ciclo como todo. La Tierra sigue las reglas de la geometría que es constructiva y va desde el punto hasta el cuerpo. Por el contrario, la heliometría va desde el cuerpo hasta el punto que corresponde al electrón y protón. Las fuerzas de la Tierra son centrípetas, constructivas y conservativas. Van hacia el centro de la Tierra, el lugar privilegiado, la suma de todas las fuerzas de la Tierra. El punto más fuerte. nuestro dios que lo controla todo.

Los elementos que constituyen el centro de la Tierra serán los de mayor densidad como el osmio y otros elementos densos y fuertes como hace el arquitecto cuando construye un edificio. La Tierra como es un imán debe tener la forma de elipse con dos focos, positivo y negativo para electrones y protones. los elementos desde el hidrógeno hasta la plata que ocupa el lugar 47 de la tabla periódica son constituyentes, integrantes por lo que formarán la mayor parte de la Tierra y los desintegrantes y radiactivos en menor proporción. Así construye la sabia natu-

raleza una casa muy grande que es el planeta Tierra como los otros planetas para ser habitados.

EL PRODUCTO

Podemos llamar al Sol factor primero y a la Tierra factor segundo. El resultado de los factores es el producto. El Sol como motor, con su energía producirá con la ayuda de la Tierra los minerales que son combinaciones de los elementos. Estos no se formarían si no fuera por la energía Solar. Una vez formados los minerales que servirán de alimento para los vegetales que también necesitan la energía Solar como se ve en la función clorofílica. Una vez formados los vegetales que servirán de alimento para los animales y estos juntamente con los vegetales y minerales servirán para alimentación del hombre, pero siempre con la ayuda de la energía Solar. Como vemos hay varias etapas muy largas en la formación de minerales, vegetales y animales. Por deducción podemos razonar que también ha habido etapas muy largas para la formación de los elementos en el Sol y en la Tierra. Son como distintas plantas o niveles donde la primera sirve de base para la segunda y ésta para la siguiente y así, sucesivamente, hasta completar el ciclo. Parece un programa del ordenador universal que es la sabia naturaleza. Es una secuencia del programa universal. Está todo encadenado, relacionado, atado y bien atado.

Todo está programado. Todo está determinado, todo funciona como una máquina del mundo. Entre los animales sobresale el hombre que es un animal racional y su finalidad en este mundo es cuidar y proteger a las demás especies como director y responsable.

Ahora bien, como se han formado el Sol y la Tierra y los demás planetas, debe haber antes un programa, un código. Deben estar programados para que salgan tantos soles como planetas, lo mismo que está programado para que salgan tantos hijos como hijas para que la especie humana no se extinga, lo mismo está programado para que hayan tantos soles como tierras, para que el mundo no se extinga, para que el universo no se acabe. Todas las cosas tienen una finalidad. Hay que recurrir al código genético de soles y tierras para explicar su formación. Hay que

recurrir al universo inteligente para explicar el nacimiento y muerte de soles y planetas. El hombre tiene 23 cromosomas y la mujer otros 23, haciendo comparaciones se deduce que en el Sol hay la mitad de elementos de la tabla periódica, predominando los radiactivos, y en la Tierra, la otra mitad, donde predominan los elementos integrantes. Uniendo las dos mitades formarán el todo, el producto, como el hombre y la mujer unidos forman el hijo.

El ciclo

Todas las cosas tienen su ciclo. Nacen y desaparecen. Lo mismo sucederá al Sol y la Tierra que también tienen su ciclo. Por el principio de la conservación de la masa y la energía nada se crea y nada se destruye, todo se transforma, el Sol y otros planetas se volverán a reciclar, que quiere decir empezarán otro ciclo y así sucesivamente, sin fin y sin principio, para ser útiles otra vez, mediante la fusión, volverán a la galaxia de donde salieron.

Con un ejemplo se comprenderá mejor el reciclaje. Una botella de cristal está rota, vieja, para reciclarla. Hay que fundirla, o sea, del estado sólido hay que pasarla al estado líquido mediante el fuego. Para que ese líquido tome la forma de botella necesita un molde o matriz que representa al código, al programa. Ese molde se saca tomándolo de la misma botella vieja. Cuando pierda el calor tendremos otra vez la botella nueva y reciclada. Vemos que el ciclo pasa por los cuatro estados de la materia (plasma, gaseoso, líquido y sólido), así sucederá a los soles y planetas que volverán a la galaxia para formar los elementos.

El ciclo abarca desde el estado de la materia de plasma o fuego hasta el sólido. De este estado no se puede pasar al primero directamente, sino que retrocede desde sólido a líquido, gaseoso y plasma..., lo podemos comprobar con el hielo, si lo calentamos, primero pasa a líquido, luego a gas y, si este gas lo quemamos, por ejemplo, el hidrógeno se desintegra y pasa a fuego. El fuego lo domina todo, todo lo controla. Vemos tantas estrellas en el cielo que dominan el universo. El fuego es el soft-

ware, la heliometría, la inteligencia, las estrellas, la energía, la información... Pero necesita del hardware, de lo sólido para caminar; es como el agua que necesita un canal para pasar. Para que funcione tienen que estar los dos unidos, separados no funcionan ninguno de los dos. Están hechos el uno para el otro. De aquí se deduce que en el universo hay tanto software como hardware, tantos soles como tierras, es decir, que cada estrella es un sistema Solar. Cuando se complete el ciclo de la Tierra, la energía prestada del Sol tendrá que volver al mismo lugar de donde surgió. Tendrá que reciclarse la Tierra. ¿Cuándo llegará el fin de la Tierra? Sencillamente, cuando se terminen de combinar todos los elementos de la tabla periódica. Con las combinaciones se han producido los minerales, vegetales y animales y entre ellos el hombre que esta imitando la naturaleza haciendo lo mismo de un modo artificial. Ha sustituido a los animales de carga como el mulo, el buey, por el vehículo de motor. Ha imitado a las aves con la construcción de aviones, incluso ha construido robots imitándose él mismo. Yo creo que cuando termine de imitar la naturaleza, acabará el mundo, porque ya no quedarán más combinaciones que realizar.

También se puede saber cuándo se terminará la energía solar, cuando el Sol caliente poco. Cuando los rayos solares alumbren poco como en Marte. Claro que todavía queda Venus para que se desarrolle la vida en él. Y cuando termine el ciclo de Venus volverá el sistema Solar a reciclarse, en la galaxia, porque mercurio es muy pequeño como la Luna. en los otros planetas como Marte, Júpiter, Saturno y Plutón ya ha habido vida. Han terminado su ciclo. Los rayos Solares llegan tenues, con poca energía, a ellos les llega la luz casi como a nosotros de las estrellas próximas, que más nos alumbra la luna que las estrellas. Como vemos, todo depende del Sol que da la información, es el software el que domina, el que controla, como en nosotros el cerebro, la mente.

* * *

Ciclo es una sucesión de fenómenos que se repiten en un orden inmutable. Sucesión regular de fenómenos que se caracterizan por el retorno a la situación inicial. Sucesión de hechos que forman un todo y

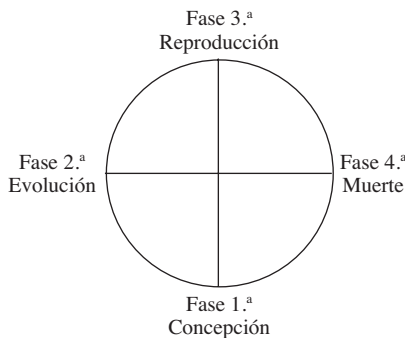
se relacionan con un elemento central. Ciclos: carbono, económico, hidrógeno, hidrológico, histórico, Solar, corriente alterna, frecuencia, geológico, motor combustión interna, nitrógeno, onda, período, radiodifusión, reproducción, sistema periódico de los elementos. Ciclo es un conjunto de fenómenos que se suceden ordenadamente y se repiten indefinidamente. Serie de fases por las que atraviesa un fenómeno físico periódico hasta que vuelve a su fase primera. Ciclo hidrológico: recorrido de una partícula de agua desde que se evapora del océano hasta que vuelve a él.

Todo tiene su ciclo. El ciclo consta de cuatro partes principales llamadas fases. El tiempo que tarda el móvil en recorrer su ciclo se llama período. Supongamos un móvil que tiene que recorrer un círculo de 10 km de longitud.

$$E = V \times T$$

El ciclo depende de la velocidad y del tiempo. A más velocidad del móvil, menos tiempo tardará en recorrerlo y a más tiempo, menos velocidad necesitará para recorrerlo. En nuestro ciclo de vida si hacemos todas las cosas deprisa, en lugar de vivir 100 años viviremos menos, según la rapidez que hagamos de nuestros actos.

Durante el recorrido del ciclo de la vida, pasamos por cuatro fases: la primera fase es la concepción (unión de óvulo con espermatozoide). La segunda fase es el crecimiento o evolución. La tercera fase es la reproducción. La cuarta fase es la muerte o destrucción.



Como el ciclo es una circunferencia y la longitud de la misma es: $L = 2\pi r$, resulta que siempre depende el ciclo del radio de la circunferencia. Unos seres viven poco tiempo porque su ciclo es también pequeño, su radio es muy corto. Otros viven más tiempo porque su ciclo es mayor. Su radio del ciclo es más grande. Los seres inorgánicos tienen un ciclo muy largo, porque su velocidad es muy lenta. Las rocas, las montañas. Los seres orgánicos tienen un ciclo más corto porque su velocidad es más rápida.

LOS CICLOS

Todos los seres tienen su ciclo. En el Universo todo es cíclico. Todas las cosas, giran alrededor de su eje, o alrededor de su centro. No pueden los seres seguir en línea recta indefinida, porque no tiene sentido, no tiene razón de ser, es indefinido, no tiene realidad. Para que sea definido el ser, tiene que ser definido, concreto, circular, cíclico.

Ciclo mínimo

El ciclo mínimo está en el hidrógeno que es el primer elemento del Sistema Periódico de los Elementos. El electrón girando alrededor de su protón, constituye el ciclo mínimo. Es una partícula elemental girando alrededor del protón que es otra partícula y forman el primer elemento del sistema, es decir, el tiempo mínimo, el primer reloj atómico más pequeño que se puede construir:

$$10^{-24} = \frac{1}{10} \times 24 \text{ segundos}$$

Es el maser de hidrógeno, el tiempo mínimo o elemental.

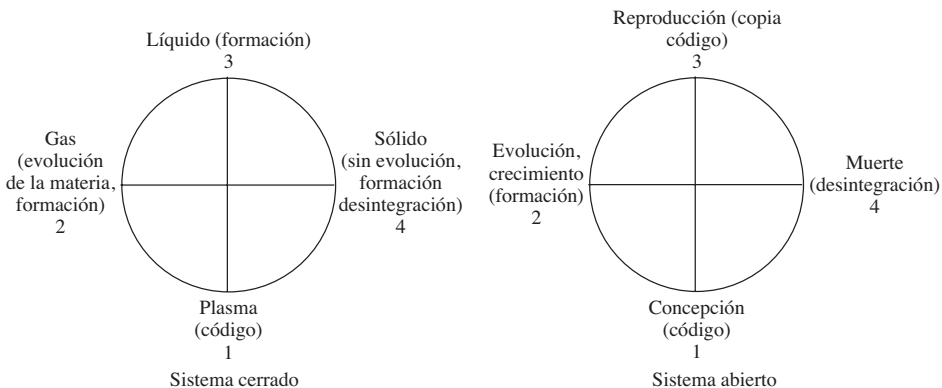
Ciclo máximo

El tiempo máximo o ciclo máximo es el ciclo que realiza la materia desde el principio hasta el fin del ciclo. El primer estado o fase de la ma-

teria es el estado de plasma, de fuego, en que la materia se ha desintegrado en sus partículas constituyentes, es el caos, no hay orden es la entropía, viene a ser el Código Universal. La información está concentrada en sus partículas elementales, así como la información se concentra en los genes de los cromosomas. Los genes son partículas de los cromosomas y las partículas elementales son partículas del átomo. La información se conserva. No se destruye. El segundo estado de la materia es el estado gaseoso, donde las partículas están ya más concentradas, comienza el orden. Se formarán los gases: hidrógeno, oxígeno, etc.

El tercer estado es el estado líquido, es el segundo orden. Los elementos comienzan a formar compuestos como el agua, formada de hidrógeno y oxígeno, etc.

El cuarto estado de la materia es el estado sólido, donde ya se mezclan todos los elementos del Sistema. Aquí termina su evolución la materia. Termina su ciclo y vuelve a reciclarse, a volver al primer estado o fase de la materia, es decir, al plasma. Y así eternamente el ciclo se repite sin parar. Es, el ciclo máximo de la materia. Para calcular el tiempo de duración del ciclo máximo es difícil. Depende de la duración de la energía solar, desde que empieza a funcionar el Sol hasta que se agota: su energía que sirve para que se combinen los elementos del Sistema. Se puede calcular y averiguar, pero es complicado. Hay una jerarquía de ciclos desde el mínimo hasta el máximo.



NOTA: Copia código para continuar, para sobrevivir la especie.

Comparación del cerebro con el Universo

El cerebro funciona a través de las neuronas. Las redes de neuronas es su estructura. Por las neuronas pasa la corriente eléctrica, la información. El Universo también funciona a través de las redes de astros. Es también su estructura. Por los astros pasa también la corriente eléctrica, en forma de radiaciones, gravitación universal. Es la información. El cerebro es imagen y semejanza del Universo en su aspecto de redes de distribución de la información. Las redes son los sistemas óptimos para procesar la información.

La neurona es la unidad del cerebro y el astro es la unidad del Universo.

Las neuronas están unidas mediante las sinapsis, las dendritas y los axones.

Los astros están todos unidos: mediante la gravitación universal. Son como imanes que se atraen, pero la distancia y la rotación los mantiene alejados unos de otros.

Las neuronas funcionan mediante el código binario: pasa la corriente, la corriente eléctrica o no pasa o circula. Los astros también funcionan con la corriente eléctrica (radiaciones, calor). Unos astros son activos (estrellas), es decir, dan información como el Sol, y otros son pasivos (planetas) como la Tierra. El día y la noche equivale al sistema binario, ya que durante el día, pasa la información del Sol a la Tierra, y durante la noche no pasa. El cerebro es limitado, mientras que el Universo es ilimitado, pero el cerebro funciona igualmente que el Universo,

a su imagen y semejanza. Es lo mismo que un ordenador muy grande y otro muy pequeño. Solamente los diferencia la memoria: en que en uno es muy grande y en el otro es muy pequeña. Es como el niño y el adulto, la comparación.

El cerebro, para comunicarse con otros cerebros necesita de otro sistema llamado alfabeto, compuesto de vocales y consonantes. Las consonantes equivalen a no pasar la corriente eléctrica, ya que no se pueden pronunciar sin la ayuda de las vocales, que equivalen a pasar la corriente eléctrica. Es el sistema binario aplicado al alfabeto.

El Universo también tiene su propio alfabeto para comunicarse por escrito (ejemplo; el código genético). Este alfabeto es el sistema periódico de elementos. Con las primeras letras (elementos) forma, crea la vida vegetativa y animal y los seres necesarios para la vida, como son el agua y el oxígeno.

Se puede comparar las vocales con los primeros elementos de la tabla periódica. las vocales son más débiles que las consonantes, ayudan a éstas para formar sílabas. Deberían estar colocadas en primer lugar las vocales en el alfabeto, que está mal ordenado desde su origen por los griegos y así ha seguido mal ordenado hasta nuestros días. Necesita un ordenamiento el alfabeto así como también la astronomía, que hay que enfocarla y estudiarla como un ordenador, como informática que es realmente y se progresaría más aún.

Los primeros elementos como son el oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno (vocales) tienen más enlaces que los otros (consonantes), que son más pesados (hierro, oro). Al tener más enlaces y combinaciones como el carbono servirán para formar, para crear la vida. Con los otros elementos más pesado servirán para formar los fundamentos del planeta. Lo mismo que en los genes está la información. También en las partículas elementales está la información para formar todos los seres.

Cerebro Universo

Primero hemos comparado el ordenador con el cerebro, después el ordenador con el universo y, por último, vamos a comparar el cerebro con el Universo. Hechas todas las combinaciones posibles para comprender mejor el Universo que es muy difícil y complejo.

El cerebro es un producto, efectivamente, del Universo que procuró hacerlo muy perfecto, tanto interés puso que lo hizo a su imagen y semejanza. Su propósito fue que cuidara y administrase la Tierra y todas las criaturas que hay en ella. Se deduce, por consiguiente, que el productor (la Naturaleza, el Universo) tiene más inteligencia, más memoria que el producto (el hombre, su cerebro), lo mismo que éste tiene más inteligencia que el ordenador, su producto.

La forma, la figura del Universo es redonda, esférica ilimitada, porque la esfera es la forma más completa, el cerebro también es redondo, esférico. El Universo ha programado todas las cosas, incluso al hombre, que nazca y muera.

El cerebro nunca podrá superar al Universo, lo mismo que el ordenador tampoco podrá superar al cerebro. Podrá aproximarse, pero nunca llegará a superarlo, solamente a imitarlo. Si observamos bien el Universo, vemos que también comete errores como el hombre. Parece que el error es inherente. A más cantidad, más errores. Mayor número de coches circulando, más accidentes habrá. Es directamente proporcional el error a la cantidad.

El Universo, la Naturaleza comete muchos errores también como

vemos en la especie humana, la parálisis cerebral al nacer los niños, en su formación, en sus cromosomas, etc.

El átomo es un ordenador en miniatura, como la célula. Átomos, moléculas y células, poseen memorias codificadas de forma similar a la del ordenador.

El ordenador atómico del Universo trabaja basado en el principio de que el camino de la inteligencia es el más eficaz de todos. La articulación rotuliana de una mosca es exactamente igual que la de un ser humano, porque ha sido construida inteligentemente por la Naturaleza.

El instinto es la información e instrucciones encerradas en los genes que han ido pasando de generación en generación. El instinto es inteligencia nata. La inteligencia adquirida es la información suministrada a las células por la experiencia.

La vida es un proceso natural de la evolución de la materia, cuya información está contenida dentro del átomo en espera de un medio ambiente favorable. La evolución macroscópica sólo puede ser el resultado de la evolución microscópica. La evolución no es solamente en la Tierra sino también en el Universo.

La biología moderna ha descubierto una semblanza de inteligencia en el nivel celular. Las espirales ADN pueden compararse con el banco de memoria de un ordenador electrónico dotado de un vasto sistema que almacena información. La molécula matriz ADN se encarga de transmitir esta información de una generación a otra y es, asimismo, la que regula la producción de proteínas, base de la vida orgánica. El código ADN consta de cuatro letras. Toma tres de ellas cada vez para formar una palabra genética, y este código es válido para todas las cosas vivientes. La palabra contiene las instrucciones necesarias para producir las proteínas que el cuerpo necesita siempre que sea requerido. Estas palabras de código pueden demandar cualquiera de los aminoácidos, mientras que otras actúan a manera de puntuación, significando el fin del mensaje (la longitud de los filamentos ADN de nuestro organismo es realmente astronómica: 160.000 km). Incluso a este nivel microscópico existen complicados mecanismos de reproducción que indican cuándo ha de empezar o poner fin a la realización del programa.

El ARN es el mensajero del ADN. Después de abandonar su núcleo

es recogido por un ribosoma (donde se sintetizan las proteínas) que lee su clave de tres letras. Una transferencia ARN recibe entonces del fluido de la célula el aminoácido apropiado y lo envía. Los procesos de la biología molecular son más complicados que la función de una computadora moderna y demuestran la existencia de patrones racionales e inteligentes en los niveles celulares y moleculares. Si de una u otra forma fueran anulados estos programas a todos los niveles, la vida llegaría a ser caótica, alcanzando su fin en pocas horas. El descubrimiento de inteligencia y lógica en lo infinitamente pequeño es un hallazgo excitante.

La teoría de la materia programada previamente no significa que todas las partículas de materia orgánica sigan su plan totalmente preestablecido. Cada unidad tiene su propio programa, al cual se ajusta inexorablemente. Un virus no crece ni se reproduce a sí mismo por medio de la división, pero tiene fuerza para perpetuarse merced al plan de introducción en el interior de una célula viva y anular las instrucciones codificadas de los cromosomas, obligando así a las células a trabajar para el invasor.

La inteligencia no se halla confinada sólo al cerebro, pues también las plantas poseen una red análoga al sistema nervioso de los animales. Hay muchas plantas que se abren o se cierran, según aumente o disminuya la luz. Siempre ha perdurado un factor: la razón, la inteligencia.

Consideremos, por ejemplo, el componente básico del sistema nervioso humano, la célula nerviosa o neurona, que es al cerebro, lo que un transistor es al ordenador. Aventaja en miniatura al transistor en una proporción de cien a mil millones. Si reemplazamos el transistor por el criotrón, esta proporción aún sería de cien mil a un millón. Esta es la razón por la cual las limitaciones artificiales del cerebro tienden a ser más prodigas con el espacio que su prototipo natural, aunque compensan este derroche con una mayor rapidez. Pero la rapidez requiere más potencia y más energía para activarlo, mientras que el gasto de energía de una neurona es de cerca de una billonésima de un vatio. El cerebro consume en total cerca de 10 vatios.

Es muy conveniente para todos los investigadores del cerebro unirse con los del ordenador y con los del universo para investigar sus secretos y progresar al descubrirlos.

La soma de una neurona puede extenderse en una o muchas ramificaciones, pero solamente una de ellas constituye el axón: las otras se llaman dendritas o terminales. Lo que distingue al axón de las otras prolongaciones es que cuando la neurona dispara, es éste el encargado de transportar los impulsos nerviosos de salida desde el soma. Las otras dendritas llevan hacia la soma los impulsos de entrada, procedentes de otras neuronas próximas. La conexión se llama sinapsis. Hay neuronas sensoriales o receptoras, aferentes y neuronas eferentes o activadoras de los músculos. El cerebro tiene cerca de 10 billones de neuronas formando circuitos biológicos; el sistema binario es idéntico para el ordenador, para el cerebro y para el Universo. Los tres funcionan y procesan con la electricidad que también es binaria: positiva y negativa. Por consiguiente, no hay alma en el cerebro, ni dios en el Universo. Lo que se llama alma y dios es la energía, las fuerzas, las partículas. En el Universo todo es materia y energía que son lo mismo que hardware y software. Antes, la humanidad desconocía la electricidad, eran un misterio las fuerzas del hombre y del Universo, por eso las llamó alma y dios, respectivamente, cuando en realidad, es software, programas. Lo mismo que el niño cree en los reyes magos porque no tiene información su cerebro, es pequeño. La verdad es que los reyes magos son sus padres. Lo mismo le ocurre a la Humanidad que no tenía información del alma y de dios, eran misterios para ellos. Pero la Humanidad va llegando a su mayoría de edad, a su progreso, gracias a la informática. Lo mismo que el niño ya no cree en los reyes magos, la Humanidad tampoco va creyendo en el alma ni en Dios. Son cosas antiguas, pasaron a la historia.

El ordenador procesa en serie y el cerebro en paralelo. La neurona es más lenta que el transistor porque tiene que recuperarse. Por eso el ordenador procesa más rápidamente que el cerebro. El cerebro soporta bien unos cuantos errores y algún defecto de funcionamiento merced a sus abundantes recursos de redundancia (cuenta y reproduce usando redes neuronales paralelas), pero el ordenador no soporta errores porque procesa en serie. El cerebro supera la desventaja de su torpeza en los cálculos recurriendo a su lógica muy superior. El cerebro ha sido capaz de compensar una aritmética defectuosa con una lógica superior. Está por descubrir el lenguaje que emplea el cerebro, que tiene forma de imán. Segura-

mente funciona como un imán: los dos hemisferios del cerebro son los dos polos del imán. Queda por descubrir la topología completa de las redes neuronales del cerebro para ver cómo funciona el todo con la suma coordinada de sus partes, las neuronas. Es comparable al proyecto Cerebro Humano en el que han intervenido todos los países del mundo para hallar su mapa, su topología. Así se hallaría su topología del cerebro con el proyecto Cerebro Humano, con la investigación de todos los países.

En el ordenador, el almacenaje de la información está en la unidad de memoria los cálculos en la unidad aritmética, la ejecución de las instrucciones programadas en: la unidad de control y así sucesivamente. El circuito neuronal del cerebro es desconocido todavía. El cerebro posee una cantidad de información, unos 10^{15} bits. Se conocen los esquemas de las neuronas aferentes y eferentes, pero no conocemos el funcionamiento del cerebro: la interacción más profunda dentro del cerebro entre la entrada y salida en su periferia. Queda todavía por descubrir una lógica más profunda que la que tiene el ordenador actual. Tenemos, también, que profundizar en el estudio de las redes neuronales artificiales y naturales. El cerebro tiene cerca de 10 billones de neuronas y 1.000 billones de conexiones sinápticas.

No hay ninguna teoría matemática estadística de redes que justifique la actividad cortical del cerebro. Todos los diferentes modelos de ingeniería, electricidad y heurísticos diseñados para imitar los procesos del pensamiento, apenas tocan el problema de descubrir el misterio del cerebro vivo. Hay que descubrir primero el lenguaje primario de la lógica matemática que el cerebro realmente utiliza.

REDES NEURONALES

Las operaciones lógicas abstractas pueden ser representadas físicamente recurriendo a circuitos eléctricos de interruptores. Pero también pueden ser representados los circuitos por medio de redes de neuronas.

La investigación de los mecanismos del cerebro del hombre y de los animales sigue manifestándose como uno de los problemas más interesantes y difíciles de la biología. Entre los numerosos misterios de la na-

turalidad, en cuya aclaración trabaja la ciencia moderna el más grandioso es el cerebro. Ignoramos la base del pensamiento. La aplicación de la lógica matemática, teoría de las probabilidades, teoría de los juegos, etc., al estudio del cerebro permitirá, establecer nuevos principios que son fundamento del funcionamiento del cerebro como sistema complejo. El método de la caja negra es también de importancia para su investigación.

Los mecanismos cerebrales de la memoria están relacionados con el ARN. Los mecanismos de la memoria se originan en la acción mutua de los procesos eléctricos con la estructura del ARN. Respecto a los mecanismos de la memoria hemos de indicar dos de las formas que adopta: la operativa y la de larga duración. La memoria operativa es aquella información que el hombre retiene instantáneamente en su memoria. La capacidad de la memoria operativa puede llegar hasta 80 bits. Es muy reducida. Los cálculos de la memoria permanente del cerebro, su volumen se encuentra entre los límites de 10^{10} a 10^{15} bits.

Las máquinas modernas superan al cerebro humano en velocidad de cálculo, en velocidad de búsqueda de información y en el volumen de la memoria operativa. El volumen de la memoria permanente del ordenador (10^5 - 10^7) muestra una tendencia a aproximarse, y esto a corto plazo, al volumen de memoria del cerebro. Los ordenadores resuelven un gran número de problemas de los que siempre se había supuesto que eran prerrogativa del hombre, por ejemplo, juegan al ajedrez, demuestran teoremas de lógica, componen música, etc. Pero el ordenador no puede pensar como el hombre. No sabemos de los principios del funcionamiento del cerebro y en este aspecto se necesitan investigaciones fisiológicas, psicológicas y cibernéticas en detalle. La construcción de ordenadores cada vez más perfectas, con la ayuda de la neurocibernética, la neurociencia, la computación y la biónica será posible gracias a la comparación del cerebro natural con el cerebro artificial.

INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso del hombre y los animales superiores, por ahora, ya cede ante los ordenadores. A los ojos del ingeniero resultan ser de-

fectos del sistema nervioso la poca rapidez de su acción (el tiempo de los procesos cerebrales se encuentra dentro de los límites de 0,1 de segundo), la imposibilidad de percibir simultáneamente varios flujos de información de orígenes diversos, los factores de cansancio e inestabilidad emocional. A pesar de estas supuestas deficiencias, el sistema nervioso posee cualidades, que conceden al hombre una superioridad incontestable sobre el ordenador. Las cualidades aludidas son las siguientes:

1. Receptores de la información exterior muy perfeccionados y dúctiles. Así, el ordenador no puede percibir información en forma de texto impreso o manuscrito, en forma de dibujos, palabras, imágenes en movimiento, etc.
2. Una fiabilidad tan elevada que excede la propia de los sistemas técnicos. Se sabe que como regla la omisión de un solo detalle es suficiente para sacar de funcionamiento un sistema técnico. A medida que se hace mayor el número de elementos de un sistema técnico (en los ordenadores su número ya alcanza varios millones) su fiabilidad es menor. El sistema nervioso de los organismos vivientes contiene miles de millones de células nerviosas y en caso de que un porcentaje de millones se vean sujetas a un agente traumático, la capacidad de trabajo del sistema se mantiene activa.
3. Los elementos del sistema nervioso son miniaturas. El volumen ocupado por el cerebro del hombre es de apenas $1,5 \text{ dm}^3$ y aloja un número de elementos del orden de 10^{10} . Un ordenador que tuviera un número de elementos semejante ocuparía un volumen de $10 \times 10 \times 10 \text{ m}$ (las dimensiones de un rascacielos).
4. La economía de la operación del sistema nervioso. El consumo total de energía del cerebro no excede unas décimas de vatio, en tanto que la alimentación de 10^{10} triggers a partir de triodos: semiconductores (suponiendo que cada triggers imite una neurona) requiere de una fuente de energía igual en potencia a una central eléctrica.
5. El elevado grado de autoorganización del sistema nervioso, la aceptación rápida a situaciones nuevas, la posibilidad de modifi-

car los programas de su actividad. La mayoría de los sistemas informáticos actuales trabajan de acuerdo con programas rígidos y previamente definidos...

Los sistemas de organización más simples tienen funciones estrictamente determinadas y un propósito definido.

Si pasamos a los procesos del pensamiento, memoria, conciencia, se puede prolongar indefinidamente la lista de las llamadas ventajas del cerebro; lo que no quita para que también deba quedar en claro que la técnica es aquello que se inculca en la naturaleza viva. Es natural que los primeros intentos para modelar el sistema nervioso del hombre y los animales se haya iniciado con la construcción de los análogos de las neuronas y las redes neuronales.

De acuerdo con los conceptos modernos, la neurona es el elemento estructural básico del sistema nervioso. Al crear modelos de neuronas se adoptaron algunas simplificaciones. Las neuronas formales que hasta ahora se han construido vienen a ser elementos de cómputo que posee las propiedades que a continuación enumeramos:

1. El esquema del modelo de una neurona tiene varias entradas y una sola salida. Entradas y salidas solamente pueden tomar uno de los dos estados siguientes: encendida y apagada.
2. Las señales de entrada actúan sobre la neurona a través de contactos en los que tiene efecto una demora de la señal de acceso en un cierto tiempo.
3. La excitación de la neurona surge como resultado del acceso a la misma de señales de excitación e inhibición; de manera que el modelo de neurona se dispara solamente en caso de que la suma de las señales de acceso exceda de un cierto umbral.

Existen otras condiciones que determinan el trabajo de las neuronas artificiales en las que por ahora no entraremos en detalle.

Se han construido diversos tipos de neuronas artificiales: neuromimas, artrones, neuristores y otros.

Neuromimas. El tipo fundamental de las neuromimas es un traductor de salida binaria y dos tipos de entrada excitatorias e inhibitorias. Los constructores han logrado análogas de neuronas que poseen una serie de propiedades de las neuronas naturales, a saber, que en las entradas no solamente aparezcan impulsos excitadores e inhibidores, sino que la neurona pueda dispararse al aparecer una cierta magnitud en el umbral de energía que se haya acumulado durante un cierto tiempo (período), período refractario, el mismo que consta del tiempo de refractabilidad absoluto y relativo, de la capacidad de suma temporal y espacial, del impulso de salida de duración y magnitud constante. Un modelo de neuromima tiene la propiedad de adaptación y posee 10 entradas excitadoras y 10 inhibidos. El circuito de cada entrada excitadora está provisto de un multiplicador y una célula de memoria.

Artrón. Una de las especies análogas de neuronas, a la que se conoce por artrón es el elemento básico de una máquina cognoscitiva que se organiza a sí misma y que reconoce. El artrón tiene dos entradas: una estimulativa y otra punitiva. Sus funciones lógicas actúan en una dirección de las entradas, que corresponden a las dendritas al canal de salida que imita al axón. EL artrón no puede tener 16 estados posibles. Una máquina de reconocimiento se construye mediante una multiplicidad de artrones, conectados directamente o por retroalimentación. En el estado inicial todos los artrones, así como la máquina en su conjunto, no se encuentran especializados. Durante el tiempo de enseñanza se le señalan sus tareas a la máquina. La retroalimentación se hace cargo de los errores en el curso del proceso de enseñanza.

Neuristores. Otro tipo más de elementos biónicos, lo es el llamado neuristor. Con neuristores se ha construido un ordenador que reproduce los procesos de la memoria, el reconocimiento y aprendizaje. Las redes neuronales artificiales permiten investigar diversos aspectos del trabajo del cerebro, tales como la memoria, operaciones lógicas...

EL ORDENADOR Y EL CEREBRO HUMANO

Las relaciones entre el ordenador y el cerebro son, tal vez, las de mayor preocupación, porque presentan implicaciones que afectan a la

concepción que los individuos se han asignado en el mundo; por ello, parecen necesitar de una reflexión desde diversos campos y, especialmente, cuando el funcionamiento del cerebro empieza a dejar de ser la caja negra.

Actualmente empieza a ser posible ver a los cerebros en acción. Se ha comenzado a ver las redes de neuronas que se interconectan al abordar el sujeto la resolución de un problema. Usando el ajedrez como problema y con la tomografía por emisión de positrones (TEP) se ha determinado qué redes de neuronas se activan para desarrollar ciertos procesos. Las secuencias de movimientos de una determinada pieza parecen responsables de la activación del hipocampo y del lóbulo temporal, en tanto que dos regiones prefrontales, una en lado derecho y otra en el izquierdo, parecen suministrar el conocimiento requerido para la planificación y ejecución de estrategias de fin de partida.

La cartografía del cerebro podrá ayudar a la neurocirugía a aclarar las diferencias neuronales que presentan algunos tipos de enfermos mentales.

Una nueva tecnología del ordenador que ayuda a las neurociencia es la realidad virtual, que permite visualizar objetos en tres dimensiones y está dando lugar a la llamada neurociencia computacional, imitando fragmentos microscópicos del cerebro.

Para los estudios de realidad virtual se han usado cortes más gruesos para reconstruir las neuronas. Tales cortes se han logrado con una versión de la tomografía axial computarizada, con una cámara móvil para generar una imagen tridimensional de rayos X que permite ver secciones desde diversos ángulos y construir, por ordenador, su estructura tridimensional. Se estima que la potencia de cálculo del cerebro humano es de 4.106 bits/segundo, se cree que tal potencia podrá alcanzarse por el ordenador en la primera década del 2000.

LA REVOLUCIÓN CUÁNTICA DE LA INFORMÁTICA

La tecnología para fabricar los actuales chips llegará a su límite físico hacia el 2010.

Los científicos auguran. Que el futuro de la informática se halla en una gotita de cloroformo. Los investigadores de IBM, del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), la Universidad de California en Berkeley y la Universidad de Oxford en el Reino Unido anunciaron recientemente que habían conseguido fabricar el primer ordenador basado en los principios de la mecánica cuántica, rama de la física que describe el mundo de partículas subatómicas, en el que el sí y el no pueden ser verdaderos al mismo tiempo.

Los científicos consiguieron lo que se lleva investigando mucho tiempo: fueron capaces de crear un original ordenador en el que el procesador consistía en el átomo de hidrógeno y cloro del cloroformo y la utilizaron para ordenar una lista desorganizada de artículos.

El descubrimiento ha desencadenado una ola de entusiasmo entre los físicos y los científicos informáticos y está llevando a docenas de centros de investigación de todo el mundo a realizar experimentos similares que auguran el advenimiento de una era de ordenadores denominados cuántico, máquinas especializadas que posiblemente un día sean miles o millones de veces, más rápidas que los superordenadores más potentes de hoy.

«Es un paso importante», declara Richard J. Hughes, físico que dirige un equipo de informática cuántica en el Laboratorio Nacional de Los Álamos. «Lo fascinante es que ahora han demostrado el algoritmo más simple en un ordenador cuántico. Quedan obstáculos importantes por superar antes de que los ordenadores cuánticos se puedan utilizarse para problemas generales», explica Hughes. Pero se ha avanzado lo suficiente como para augurar importantes aplicaciones.

En busca de herramientas más poderosas para descifrar códigos o explorar bases de datos grandes, empresas informáticas como IBM y Hewlett Packard ya están formando equipos de investigadores para trabajar con una generación de sistema informático cuántico que puedan entrar en funcionamiento en la segunda década del próximo siglo. Muchos expertos consideran que por esas fechas las tecnologías convencionales alcanzarán sus límites físicos.

Los transistores han ido disminuyendo constantemente de tamaño y los procesadores han ganado en velocidad y potencia. Pero los diseñado-

res de semiconductores piensan que los transistores empezarán a fallar cuando se acerquen al tamaño de un puñado de moléculas, posiblemente después del 2010.

Los nuevos avances en la informática cuántica son especialmente impresionantes porque hace tan sólo dos años la inmensa mayoría de los investigadores de este campo opinaba que la informática cuántica era una posibilidad teórica, pero no práctica.

A diferencia de los ordenadores convencionales actuales, constituidos por series de millones de interruptores digitales que pueden accionarse y desconectarse rápidamente, los ordenadores cuánticos, están compuestos de unidades llamadas *qu-bits* que pueden representar el 1 y el 0 muchos otros estados simultáneamente.

Qu-bit en Benasque

La cuarta sesión del Centro de Física de Benasque, que tiene lugar del 15 al 25 de julio, está dedicada tanto a los aspectos teóricos como a los experimentales del campo de la Información y Computación Cuántica. Unos 60 científicos procedentes de 16 países se reúnen durante tres semanas en la escuela primaria de Benasque (Huesca). Se habilitan temporalmente despachos para todos los participantes en las aulas del Colegio y pizarras en todos sus pasillos, se transforma el comedor en una aula de seminarios y el gimnasio pasa a albergar diez estaciones de trabajo de Silicon Graphics conectadas por una línea punto a punto con el Centro de Supercomputación de Cataluña (CESCA).

La temática de la presente edición del Centro trata específicamente de «Progres in Quantum Computing», «Cryptogralphy and Communication» y «Progress in Quantum Optics and Atomic Physics», cuya coordinación científica corre a cargo de los profesores A. Ekert (Universidad de Oxford) e I. Cirac (Universidad de Insbruck). Entre los participantes del Centro se encuentran los líderes de los principales grupos de investigación de todo el mundo. Cabe destacar la presencia de A. Zoller (Universidad de Insbruck) y C. Bennet de IBM, generador de ideas de teleportación cuántica. Figuran también entre los participantes N. Gers-

henfeld (Media Lab. MIT), R. J. Hughes y W. Zurek (Los Álamos National Laboratory), P. Knight (Imperial College), y G. Milburn (Universidad de Queensland).

La vitalidad del campo de la computación cuántica se ha hecho evidente en las charlas y discusiones que tienen lugar en el Centro. Se han debatido temas como las limitaciones de las técnicas de resonancia nuclear magnética (NMR), los problemas de las trampas de iones o las nuevas ideas sobre redes ópticas. El progreso teórico del campo no va a la zaga, profundizando en la comprensión de la utilización de *qu-bit* (bits cuánticos), creando nuevos algoritmos cuánticos e ideando protocolos de comunicación eficientes y seguros.

EL funcionamiento del Centro de Física de Benasque se basa en un número muy reducido de charlas y mucho tiempo dedicado a discusiones de trabajo. Los resultados de las tres semanas de trabajo se miden en forma de nuevas colaboraciones científicas que se plasman en artículos de investigación.

José Ignacio Latorre es profesor del Departamento de Estructura y Constituyentes de la Materia (Universidad de Barcelona) y coordinador del Centro de Física de Benasque.

La Tierra

¿QUÉ ES LA TIERRA?

Muchas posibles definiciones podrían ser correctas, así, un astrónomo diría que se trata del tercer planeta del sistema Solar, un astrólogo pensaría que es un astro opaco que gira alrededor del Sol. Un biólogo opinaría que es el medio ambiente en el cual existimos los seres vivos; un religioso diría que es el escenario que Dios creó para colocar su máxima creación. Pero en este ensayo se pretende examinar la Tierra como un todo compuesto de muchas partes relacionadas entre sí. El punto de vista aquí desarrollado es el de un informático.

De la misma forma que las partes de un ordenador están inteligentemente diseñadas y acopladas entre sí para trabajar en conjunto, podemos citar muchos ejemplos en los cuales se aprecian algunas partes de la Tierra interactuando en forma adecuada para lograr un objetivo. En esta línea de ideas, observamos cómo los mares, las nubes, la lluvia los ríos, interactúan efectivamente para participar en un proceso denominado (por nosotros) el ciclo del agua, entre cuyos muchos objetivos está el de mantener los suelos irrigados, y, de esa forma, contribuir a la existencia de seres vivos. Así como en los programas puede observar ciertos rasgos de exactitud, en estos procesos, de hecho, la cantidad de agua que se queda (temporalmente) en las nubes y la que desciende en forma de lluvia.

Los sistemas informáticos son centralizados, es decir, existe una parte (el CPU) que decide lo que debe hacer cada componente del orde-

nador y en todas las situaciones posibles. En este punto surge una diferencia porque resulta que las partes de la Tierra, el aire, los mares, los suelos, los seres vivos, la capa de ozono, etc., se comportan de una forma adecuada, sin que (hasta donde llegan nuestros conocimientos) exista un cerebro que las controlen. Por esta razón, mientras no tengamos conocimiento sobre la existencia de este ente supremo, debemos pensar que el sistema Tierra, es un sistema descentralizado.

Todos tenemos claro que un sistema informático basado en el ordenador está compuesto por el hardware, que es el equipo electrónico, y el Software, que está representado por un conjunto de instrucciones que deben ser seguidas por el ordenador, y que le indican las acciones a seguir en todas las posibles situaciones. También podemos fácilmente identificar el hardware del sistema Tierra, el cual está compuesto por todo aquello que podemos percibir a través de alguno de nuestros cinco sentidos, es decir, la parte tangible. El problema surge cuando deseamos identificar la parte análoga al software de un sistema informático.

No está escrito (o descubierto) el procedimiento a seguir, la programación de la Tierra, los criterios utilizados para comportarse. Pero podemos reflexionar sobre distintos fenómenos naturales y deducir que, efectivamente, existe un orden definido e inteligentemente organizado en los diferentes eventos que observamos en la naturaleza. Un claro ejemplo lo representa el ciclo del agua anteriormente citado, donde pareciera que el agua tiene una ruta a seguir; también podemos observar el ciclo de vida de animales y plantas (nacimiento, crecimiento, reproducción y muerte). El aire nos protege de las radiaciones del espacio exterior, existe un perfecto equilibrio ecológico, donde algunos animales se alimentan de otros y de esa forma mantienen niveles razonables de población.

Desde luego, todos los fenómenos naturales obedecen a una secuencia de pasos muy bien definida. Aquí encontramos la similitud que habíamos buscado, y vemos que este software está muy bien realizado y perfectamente estructurado, de tal forma que existen macroprocesos, como pueden ser las erupciones volcánicas que resultan del sobrecalentamiento del interior del planeta; procesos menos grandes, entre los cuales se pueden ubicar la circulación de las aguas a través de los mares, los ríos y el aire; y microprocesos, que resultan aún más interesantes, entre

los cuales relacionamos el proceso de la fotosíntesis, el proceso de reproducción en mamíferos, ovíparos, reptiles, plantas, etc.

Tal parece que todo encaja, hardware y software se unen para preservar los mares, los suelos, la vida, en resumen, se mantiene en equilibrio. Y este macroordenador va más allá, porque sus componentes no sólo se renuevan y se lubrican constantemente, sino que además, existe un elemento imposible de hallar en un equipo electrónico: la inteligencia del hombre, la cual tiene el poder de ayudar a preservar el sistema o de colaborar con su destrucción.

EL RELOJ DEL SISTEMA TIERRA

En los sistemas informáticos basados en ordenador, se ejecutan una serie de procesos o programas que generan algún resultado. Pero estos programas no ocurren en una forma desordenada ni aleatoria, cada proceso tiene un momento adecuado para comenzar y finalizar, generando datos que luego serán utilizados por otros procesos, o transmitidos al usuario a través de la impresora, la pantalla o cualquier otro dispositivo de salida. Ese momento adecuado para inicio y final de cada proceso es señalado por un reloj interno que posee el ordenador, así cuando el reloj marca las 24:00 comienzan a trabajar los programas de cierre diario en una entidad bancaria.

En el sistema Tierra, los fenómenos naturales tampoco ocurren aleatoriamente. La Tierra ejecuta algunos procesos de forma repetitiva y secuencial, que sirven (entre otros fines) para definir el instante de tiempo en que comenzarán a funcionar otros procesos que se mantenían en «estado de espera». Los dos procesos principales que funcionan como un reloj para el sistema Tierra, son el movimiento de rotación en torno a su propio eje y el movimiento de traslación alrededor del Sol.

El movimiento de rotación es un proceso que dura 24 horas, cada instante de este fenómeno. Ejemplos claros de esta deducción son los sucesos que llamamos «el día» y «la noche». Decimos que es de día cuando el Sol nos hace llegar suficiente luz para percibir claramente nuestro medio ambiente a través de la vista, en caso contrario, decimos que es de noche. Cuando es de día, lo que ocurre realmente, es que la Tierra ha gi-

rado sobre su eje, lo suficiente para que el lugar donde estamos se coloque en una posición adecuada para recibir los rayos del Sol; esta situación se repetirá exactamente igual pasadas 24 horas, tiempo suficiente para que la Tierra realice una vuelta completa sobre su eje. Cuando es de día en un lugar, también es de noche en alguna otra parte; el proceso de rotación evidentemente está marcando las pautas para definir en qué momento debe comenzar la noche y en cual otro comenzará el día, tal como lo hace el reloj de un ordenador en una entidad bancaria.

Otro fenómeno que ocurre en alguna de las fases del proceso de rotación de la Tierra es la ocurrencia de mareas. Los mares estarán en una posición u otra, a una temperatura u otra, dependiendo del lugar donde se encuentre «la manecilla» del reloj de la Tierra, según tal posición y temperatura ocurrirán mareas o no. Otros fenómenos de no menos importancia, comienzan y terminan según lo defina el reloj de sistema Tierra. Entre ellos podemos citar: la presencia (a nuestros ojos) de la luna, la de las estrellas; el calor o frío en un momento dado, etc. Es de hacer notar que los humanos (al igual que el resto de los animales), utilizamos este reloj natural para definir nuestro modo de vida, (a que horas trabajamos, dormimos, comemos, etc.).

Nos marca la pauta para el comienzo de otro suceso.

Pero debe tenerse en cuenta que el movimiento de rotación marca un período muy corto para medir y señalar el punto de partida o final a muchos fenómenos. Podemos, por tanto, considerarlo como el minuterero del reloj de la Tierra. Evidentemente, existe otra manecilla natural, que señala períodos de tiempo más largos, nos referimos al movimiento de traslación alrededor del Sol. Esta manecilla del reloj indica el punto de partida de procesos muy importantes para la Tierra y quienes vivimos en ella.

Entre los diversos estados que se generan debido a la posición de la Tierra respecto al Sol, podemos citar ese calor excesivo que se produce en las zonas norte y sur de la Tierra en determinadas épocas del año, tan característico y periódico que le hemos puesto nombre (verano) a la etapa del año en que ocurren estos cambios climatológicos. Como todos sabemos, existen otras tres etapas claramente diferenciables según el clima y otros cambios atmosféricos. Así como el movimiento de rotación marca pautas para cambios que influyen en nuestras costumbres co-

tidianas (períodos de 24 horas), también, el movimiento de traslación nos induce a tener una forma de vida que debe cambiar según se cumple el ciclo, así, en invierno, se usa ropa que abriga bastante, se comen determinados alimentos, etc. Los días se hacen más cortos y las noches más largas. Las otras estaciones también tienen sus peculiaridades en nuestros hábitos. Pero no se trata de una exclusividad de los humanos, podemos observar que animales como el oso polar, los insectos, las aves, etcétera, cambian su ritmo de vida según la posición de la segunda manecilla del reloj del sistema Tierra.

No quiere decir lo anteriormente expuesto que los procesos más largos ocurran en un término de 360 días, sólo se pretende señalar que ese período de tiempo es una medida natural, para observar cambios que podemos estudiar según nuestras posibilidades. Debemos tener en cuenta que hay procesos que duran miles de años (formación de glaciares, movimiento de continentes, aparición de nuevas especies...) y, tal vez, exista una tercera manecilla del reloj que tarde miles de años en completar un ciclo, pero nuestra corta longevidad no nos permite estudiar períodos tan largos.

Téngase en cuenta que la Tierra forma parte de un sistema Solar, que a su vez está incluida en una galaxia, la cual forma parte de una constelación. Realmente, se sabe muy poco sobre las constelaciones, las galaxias, planetas, inclusive sobre la misma Tierra, por tanto, no pretendemos afirmar que sólo existan dos manecillas de un reloj tan complejo, que pertenece a un sistema tan perfecto.

¿UTILIZA LA TIERRA EL MISMO PATRÓN DE FUNCIONAMIENTO QUE EL CUERPO HUMANO?

Resulta interesante descubrir cómo la naturaleza parece haber utilizado el mismo patrón de funcionamiento en procesos de diferente clase. Así vemos un mismo patrón en los procesos de reproducción de todos los animales denominados mamíferos. También podemos ver cómo los procesos de recepción de estímulos (visuales, táctiles, auditivos) son muy similares en animales de distintas especies.

Un modelo muy interesante es observar y estudiar es los funciona-

mientos del cerebro, cómo los estímulos externos (la luz, ruidos) excitan nuestros órganos receptores (vista, oído, etc.), que a su vez emiten impulsos a través del sistema nervioso que se encargan de excitar las dendritas de las neuronas originándose, luego, una misteriosa (desconocida) cadena de reacciones de neuronas hasta que (en conjunto) resulta una emisión de impulsos que nuevamente fluye a través del sistema nervioso y originan movimientos motores.

Cabe pensar que si vemos la Tierra como una unidad muy compleja (parecido a cualquier organismo vivo) su funcionamiento no es más que un cúmulo de respuestas a estímulos provenientes del exterior (rayos solares, ondas electromagnéticas, atracción gravitacional...). Como primer ejemplo, podemos citar los efectos que producen los rayos solares sobre los distintos subsistemas del planeta Tierra. Los rayos solares actúan como estímulos que excitan algunos receptores ubicados en las plantas, desencadenando una serie de procesos que conocemos con el nombre de fotosíntesis; también excitan nuestras retinas (y la de otros animales), iniciándose el fenómeno de la visión; otro efecto es el de calentamiento de las aguas, iniciándose el conocido ciclo del agua.

Una vez que los rayos solares (estímulos extraterrestres) han originado el inicio de diferentes procesos naturales, estos generan a su vez otros efectos que sirven de punto de partida o de continuación a otros fenómenos naturales, por ejemplo, el ciclo del agua tiene como efecto «secundario» que caiga el preciado líquido sobre la Tierra, lo cual contribuye al nacimiento y crecimiento de las plantas, además de satisfacer la sed de los animales no acuáticos. Es de tener en cuenta que el hecho de ayudar en el crecimiento y reproducción de las plantas, no es más que el inicio de muchos y complicados subprocesos, de igual forma ocurre con el segundo ejemplo referido a satisfacer la sed de los animales.

De tal forma que a raíz de estímulos extraterrestres, se generan una serie de procesos internos con una armonía y una complejidad maravillosa. Aún nos faltaría estudiar el efecto que estos fenómenos «internos» tienen sobre el exterior de la Tierra. Este patrón de funcionamiento es muy similar al que utiliza nuestro cerebro, alimentándose de estímulos externos y desencadenando múltiples procesos que dan lugar al pensamiento y a la locomoción.

Modelos fisiológicos

PLANTEAMIENTO

La fisiología, incluida la neurofisiología, trata de la organización interna del ser humano. Construye los modelos con elementos que pueden representar células simples del cuerpo. Las células del sistema nervioso se llaman neuronas y han desempeñado un papel importante en los métodos de construcción de estos modelos.

El principio de *homeostasis*. Que es el de ajuste a las condiciones externas para mantener un equilibrio dentro del organismo, es un nexo entre cibernética y fisiología en general y neurofisiología en particular.

El campo de los modelos fisiológicos autoadaptativos se llama a veces biocibernética. Las redes neuronales establecen un vínculo natural entre teoría de autómatas y neurofisiología. De la misma manera que la cibernética y la psicología tienen puntos de contacto comunes, también los tienen la psicología, la fisiología y la cibernética.

BIOCIBERNÉTICA Y NEUROCIBERNÉTICA

La fisiología y la anatomía tratan de la función y estructura de los organismos del cuerpo. La neurofisiología y la neuroanatomía humanas tratan de la función y estructura del sistema nervioso, y esto tiene un interés especial para la cibernética. Nos ocuparemos principalmente del sistema

nervioso humano, puesto que hasta ahora es el campo de estudio en el que más se han centrado los problemas de la conducta y de la cibernética.

Muchos procesos psicológicos son claramente susceptibles, en principio, de una descripción en términos neurológicos. Es decir, podemos observar y describir una respuesta sencilla como el reflejo patelar (reflejo de la rótula) por referencia a los nervios que llegan y salen de la rodilla. Debemos ir más lejos y decir que es deseable volver a formular, en la medida de lo posible, en un lenguaje biológico, la conducta observada ya descrita directamente. Las teorías de la conducta que intentan explicar la conducta en términos psicológicos, también deben traducirse a un lenguaje que haga referencia al funcionamiento interno del organismo. Al menos esto es así en contextos que requieren un nivel de predicción más detallado.

No es posible, por el momento, poner totalmente en práctica este programa, pero existen indicios de que en un futuro próximo pensaremos expresamente en términos neurológicos cuando discutamos de la conducta. No es necesario que hagamos esto, pero es deseable desde el punto de vista de la integración de nuestros conocimientos científicos, y también porque nos parece que no somos capaces de alcanzar el grado necesario de predecibilidad con la psicología sin ayuda de datos biológicos.

Los problemas de la conducta pueden describirse primero en términos neurológicos, y después, mucho más tarde, puede ser posible volver a describirlos en términos bioquímicos. De todas formas, todo este programa debe depender del desarrollo de las demás ciencias biológicas. Los conocimientos actuales de los aspectos bioquímicos del sistema nervioso no permiten una esperanza inmediata de un rápido desarrollo. Al menos esto es así para la segunda etapa del plan; este programa se llama a veces «reduccionista».

El problema de describir la conducta en términos neuronales es muy importante. Las dificultades de verificar estas hipótesis de próxima formulación pueden incluso agravarse. Pero en la actualidad ya se ha iniciado, en realidad, esta investigación, y antes de considerar algunas de las sugerencias propuestas es útil reflexionar sobre nuestros conocimientos consolidados de la neurología y la neurofisiología.

A veces se ha comparado el sistema nervioso central con un sistema telefónico complejo, donde los centros superiores y las sinapsis (los pun-

tos de conexión de las neuronas) son considerados como similares a las centrales telefónicas. Esta analogía es útil hasta cierto punto, pero sólo hasta cierto punto. Existen ciertas características adaptativas del tejido nervioso que sugieren diferencias, así como semejanzas. Todos los tejidos nerviosos son prolongaciones de las células nerviosas que se ramifican por todo el cuerpo. Las células situadas en la sustancia gris de las vías espinales, y el mismo cerebro, tienen un origen común con las demás células que integran el organismo. Pero durante la evolución se han especializado en su actividad de comunicación. Naturalmente esto no significa que las propiedades de transmisión estén excluidas totalmente de otros tipos de tejido celular, pero es cierto que están mucho menos acentuadas en otras células. Debido a la presencia de tejido especial, lo que las mitiga de su operación.

Las células nerviosas constan del cuerpo de la célula, muchas ramificaciones cortas llamadas dendritas, y una ramificación larga llamada axón. Se pueden clasificar según el número de ramificaciones que cada cuerpo celular nervioso tiene.

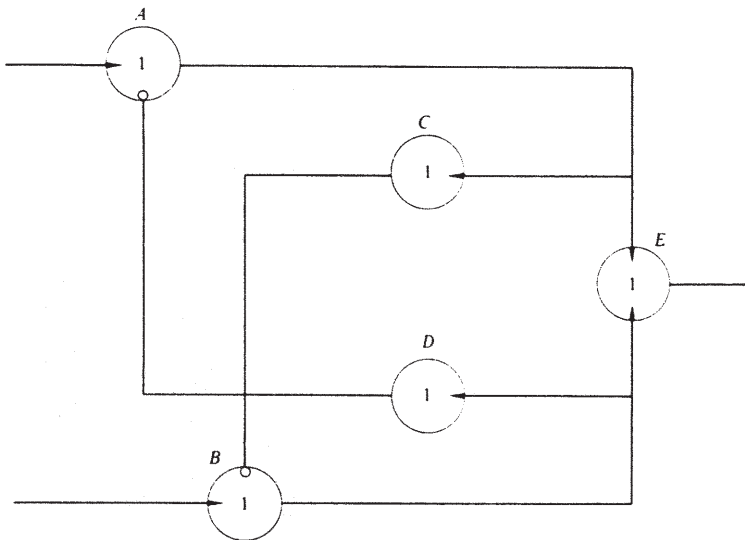


Figura 1.—Si un mensaje $X = 1010$ llega a A mientras $Y = 0101$ llega a B , la salida para E es 1111 .

El cerebro mismo (figura 1) está integrado por haces, capas de conexión de células de la sustancia gris; y el cerebro es la parte final modificada sumamente especializada, de la médula espinal, situada en la cabeza. La configuración que ha adoptado la especialización se analiza mejor en términos comparativos. Si realizamos un examen del sistema nervioso de la lombriz, la rana, la rata, etc., en escalas de complejidad cada vez mayor, podemos observar la configuración que ha desarrollado la evolución durante períodos muy largos de tiempo. Los invertebrados más simples no tienen células nerviosas especializadas, pero podemos ver claramente en la lombriz que las dos principales fibras nerviosas recorren toda su longitud, con dos nudos nerviosos más o menos especializados, o ganglios (colección de neuronas) en el extremo de la cabeza, la parte principal y también necesariamente la zona de mayor sensibilidad.

El sistema nervioso central está integrado por 10^{10} neuronas. Según una estimación de Warren McCulloch. Las complejidades implicadas en las posibles combinaciones y recombinaciones de este número desafían a la imaginación. Sin embargo, el cerebro humano se divide de un modo conveniente, aunque bastante arbitrario, en regiones en gran parte como consecuencia de la evolución embriológica y desde la parte superior de la médula espinal (ascendiendo) tenemos, en primer lugar, la médula oblongada. Después el *mesencéfalo*, ya continuación el *pons varolii*. La *médula* es probablemente un centro mediador de reflejos.

Contiene ciertos núcleos, o agrupaciones de neuronas, y probablemente podemos decir lo mismo del mesencéfalo y del pons; aunque los detalles, distribución de los haces, etc., son de gran complejidad. El cerebelo, un gran órgano motor situado tras la masa principal del cerebro, está relacionado con el equilibrio y la postura. El tálamo y el hipotálamo, que son filogenéticamente viejos, están relacionados probablemente con la mediación refleja de respuestas «emocionales». Probablemente fueron en algún tiempo la zona de control del cerebro; en la actualidad se han convertido en la estación terminal del sistema sensorial. Es cierto que el tálamo y el hipotálamo, así como los *ganglios basales*, que son la última capa antes de la capa final o terminal del córtex cerebral, están bajo control cortical. De todas formas es evidente que funcionan en estrecha armonía con las áreas de control del córtex cerebral. En la con-

ducta integradora del organismo. Sólo la discusión de estos diferentes centros de control, en especial los centros reflejos inferiores, y su relación con el control de los estados internos del cuerpo (temperatura, presión sanguínea, etc.) requeriría volúmenes e incluso sería incompleta. Es verdad que hasta cierto punto el sistema nervioso funciona como un todo en el organismo y, por consiguiente, debemos considerar las divisiones anteriores como totalmente arbitrarias.

Se cree que el *córtex cerebral* representa el centro de control de todas las actividades de la conducta en el hombre y esta capa compleja de células neuronales ha sido objeto de la investigación psicológica y fisiológica más reciente. Los ganglios basales son los otros órganos importantes que llaman la atención, puesto que también están relacionados con el *córtex*. Antes del actual grado de desarrollo cortical, funcionaban con una capacidad de control, y todavía controlan al menos en parte, la risa y el bostezo y muchas otras actividades involuntarias.

Inicialmente hemos visto en nuestra discusión que el problema de comprender cuando la conducta podría ser resuelto eliminando la diferencia entre estímulo y respuesta: pase lo que pase entre estímulo y respuesta, es cierto que el *córtex cerebral* desempeña un papel crucial en la conducta humana «inteligente». Consideremos alguna evidencia. Es de especial interés la evidencia que proviene de la destrucción de diversas partes del *córtex cerebral*, y para describir brevemente esto, nos servirá un mapa sencillo. El *córtex* se divide en cuatro áreas: las áreas frontales que constituyen la mayor parte de la mitad frontal de la parte superior del cerebro; las áreas temporales están un poco por encima del oído; las áreas parietales ocupan la parte superior de la cabeza y de los laterales, aproximadamente el centro de la cabeza; y las áreas occipitales constituyen aproximadamente la zona comprendida al colocar la mano abierta en la parte posterior de la cabeza (véase figura 1).

El cerebro mismo tiene una forma parecida al de una nuez muy grande y es simétrico en los dos hemisferios unidos por fibras de conexión, o por haces de asociación. Así, cada una de las cuatro áreas están duplicadas: una en cada lado, y las mismas áreas están aisladas unas de otras por alguna de las hendiduras más manifiestas, o cisuras, que son claramente visibles en la superficie del cerebro. Es de gran interés examinar

lo que sucede cuando alguna de estas áreas es lesionada o es estimulada eléctricamente.

Las áreas occipitales están en la parte posterior de la cabeza y están relacionadas específicamente con la visión. La estimulación y destrucción de estas áreas producen un efecto en la función visual. La destrucción del córtex en la parte occipital origina ceguera parcial, en forma de pérdida de visión en la mitad del campo binocular. El área occipital está relacionada con las áreas visuales cabeza y primarias y secundarias. Las áreas de *elaboración visual* o áreas secundarias, están delante de las áreas primarias. Los ojos (donde tiene lugar la integración de las «imágenes») son la principal fuente de entrada sensorial; la gran cantidad de información que recibe el ser humano es a través de los ojos. Naturalmente, es verdad que gran parte de esta información podía ser recogida a través de los oídos, o de otros sentidos, pero estos no se utilizan normalmente al máximo si funciona el aparato visual, aunque, naturalmente, la entrada en cualquier instante implicará generalmente a todos los sentidos.

Los nervios ópticos, que empiezan en la retina (que es una capa fina de nervios, constituida principalmente por conos y bastones en la parte posterior del ojo), vuelven al quiasmo óptico, donde parte de los haces de fibras se cruzan, y después, una vez realizadas ciertas conexiones con el tálamo, vuelven a las áreas occipitales. El cruce de las fibras nerviosas es típico de gran parte del sistema nervioso. La pierna derecha es controlada por el hemisferio izquierdo del córtex cerebral, y la pierna izquierda por el hemisferio derecho. En realidad, el lado izquierdo del cuerpo es controlado generalmente por el hemisferio derecho y viceversa. En las personas que usan la mano derecha predomina el hemisferio izquierdo. El lóbulo occipital es probablemente, salvo para las áreas del lenguaje del cerebro, el más específico en la función de todas las regiones corticales.

Trataremos brevemente ahora de las áreas del lenguaje. Diferentes formas de deficiencias en el lenguaje, conocidas colectivamente como *afasia*, tienen lugar cuando se lesionan las áreas del lenguaje. Penfield y Rasmussen (1950) situaron en el estudio que realizaron, las áreas primarias del lenguaje en el área superior, o frontal superior, y en las áreas

temporales y parietales. Se puede realizar una destrucción muy cerca de estas áreas con impunidad, puesto que presentan una demarcación bastante clara. La destrucción de las áreas del lenguaje puede acarrear diferentes tipos de desórdenes: pérdida del lenguaje. pérdida del empleo de que ciertas palabras, pérdida de asociación de palabra y objeto, etc.

Las áreas temporales están estrechamente relacionadas con las funciones «memoria», y contienen áreas que sirven para la audición y el equilibrio. Penfield descubrió que la estimulación eléctrica directa de las áreas temporales, en un paciente anestesiado localmente, provoca relatos de escenas visuales que constituyen parte de los esquemas de la memoria del individuo. Interesa mucho que descubramos todo lo que sea posible sobre la localización de la memoria, puesto que, al igual que con el ordenador digital, la extensión y accesibilidad de la memoria determinan en gran parte las capacidades del organismo.

Las ilusiones y las alucinaciones están estrechamente relacionadas con esta área. La estimulación eléctrica de esta área puede desconectar totalmente al paciente respecto al estado presente de su medio ambiente. Este tipo de pruebas hace dudar de la «introspección», y los métodos psicológicos menos adecuados. La inferencia general es que se encuentran en esta parte del córtex las configuraciones neuronales más estables. Las conexiones sinápticas, si son en realidad el test en el fundamento del «aprendizaje», se encuentran probablemente de una manera relativamente permanente en esta área. El lóbulo parietal (en la parte superior de la cabeza y de sus laterales) no es muy revelador, y al igual que el lóbulo frontal, no responde claramente a la estimulación eléctrica. Sin embargo, Penfield y Rasmussen extirparon la mayor parte del córtex parietal en el hemisferio no dominante, y el brazo del lado opuesto se vió afectado, desde el punto de vista motor cuando el paciente se vestía, no utilizaba su brazo opuesto (izquierdo) y actuaba como si no fuera consciente de su presencia. Por consiguiente, las áreas parietales sí están conectadas probablemente con la proyección mental del miembro opuesto.

Es probable que todo el córtex cerebral implique una proyección de todos los sistemas (muscular, vascular, etc.) del organismo y facilite la mayor parte de las funciones del organismo. Sin embargo, las relaciones son complejas: las áreas se superponen y los valores de umbral interre-

lacionados se modifican diferencialmente con cambios de movimientos en el individuo. La noción de umbral merece un comentario. Si una fibra nerviosa es estimulada, entonces responderá, si y sólo si la estimulación es suficientemente intensa. Así es posible estimular una fibra y no obtener ninguna «respuesta». El umbral es el punto en el que una fibra responde a la mínima estimulación: es una medida de la sensibilidad de cualquier neurona o colección de neuronas.

En el córtex, en el que tiene lugar una superposición de la representación, la estimulación de un punto único provocará una u otras funciones. Según los umbrales relativos de las funciones que este punto concreto desempeña. El lóbulo frontal, que está relacionado casi con seguridad con la autoconsciencia y la imaginación, ha suscitado el máximo interés, puesto que aquí puede ocurrir una destrucción importante sin afectar claramente a la conducta manifiesta del individuo.

En realidad, los cambios son cambios en la llamada «personalidad». El desarrollo evolutivo más reciente implica las actividades sociales del hombre, y estas parecen estar ampliamente representadas por el desarrollo de las áreas frontales. Un ejemplo típico mostrará la respuesta habitual ante la extirpación de gran parte de los lóbulos frontales. Un hombre, que antes era tímido y sumamente retraído, con un «bloqueo» importante o con una serie de «estados de frustración», fue operado, y las áreas frontales fueron destruidas parcialmente. Al principio su recuperación total no presentaba ningún cambio respecto al *self* originario. Pero pronto sus amigos relataban cambios notables en los hábitos: ya no manifestaba timidez, sino una despreocupación alegre ante los convencionalismos y el dinero. Su «frustración» ha desaparecido, y con ella toda actitud de planificación o responsabilidad y organización social: ambas han desaparecido a la vez. Otro ejemplo proviene de una lesión en las áreas de elaboración visual, que dañarán la función visual, puesto que, aunque los receptores están funcionando, el significado organizado de la recepción visual será confuso. En términos de nuestra analogía visual, podemos decir que el cerebro recibe todas las imágenes, pero no puede interpretarlas. La base de gran parte de los experimentos neurológicos y el fundamento de la teoría han tenido su origen en las investigaciones realizadas desde el punto de vista de la teoría del *arco reflejo*.

Los experimentos que han proporcionado tanta información han sido realizados por estimulación eléctrica de preparados de nervio-músculo: se utiliza un músculo característico proveniente de la pata de una rana, junto con las fibras nerviosas ligadas a él. Charles Sherrington (1908) es el nombre que siempre estará relacionado con los experimentos del tipo del arco-reflejo. A partir de aquí desarrolló una teoría bastante compleja del funcionamiento neuronal, empleando ciertos términos teóricos como «estado excitador central», «estado inhibitor central», y demostró procesos de inhibición y facilitación de un impulso nervioso. En efecto, nos presentó un cuadro de impulsos que recorren los nervios de la misma manera que los trenes se desplazan por muchas líneas diferentes de ferrocarril. Si dos trenes avanzan por líneas paralelas que se juntan en una, es necesario, evidentemente, detener un tren y dejar otro que pase primero, inhibiendo o interrumpiendo así el paso del otro tren. Cuando los impulsos no son antagónicos, puesto que ambos pueden ir ahora juntos reforzándose mutuamente, un tren se engancha al otro formando un tren más grande. La figura 11.2 ilustra este punto.

A veces surgen situaciones en las que no puede pasar ningún tren, salvo que los trenes componentes lleguen juntos; en términos de nuestra analogía, los trenes con sólo cinco vagones deben utilizar las líneas hasta el empalme, mientras que todos los trenes situados después del empalme deben tener por lo menos diez vagones, de modo que debemos tener dos trenes que lleguen juntos. Los estados excitadores e inhibidores centrales aluden a si la caja de conmutación permite o no permite que los trenes pasen «su señal está hacia abajo» o no está hacia abajo, que implica «señal hacia arriba».

Naturalmente, el cuadro es, en realidad, más complejo que esto, pero emplearemos este conocimiento básico de la manera en que se comportan las fibras nerviosas cuando construimos nuestras redes neuronales. La figura 2 muestra este punto.

La EEG (o electroencefalógrafo) es un instrumento para medir la actividad eléctrica del cerebro entre dos puntos en los que se colocan los electrodos. La característica eléctrica más conocida es la que tiene lugar cuando una persona en reposo cierra sus ojos. Presenta un interés especial porque se cree que este ritmo alfa se asocia con el ritmo de explora-

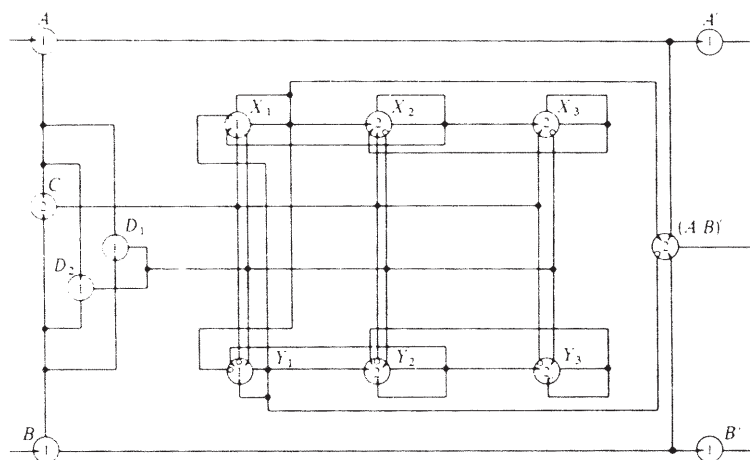


Figura 2.—Para sólo dos entradas a y b , la red almacena, por una parte, la razón de los sucesos $C = (a \times b)$ y, por otra parte, $B = D_1 \times D_2 = (\sim a \times b \text{ o } a \times \sim b)$. El elemento $(a \times b)'$ se dispara si han existido más C que B entre los sucesos más recientes registrados.

ción permanente del mecanismo visual. Este es el que se emplea en televisión, y la semejanza entre televisión y visión humana es la que sugiere el mismo desarrollo de la cibernética en la que estamos interesados.

Los trabajos que últimamente se han realizado sobre la EEG son tan extensos que nos llevaría mucho tiempo discutirlos. Tal vez los principales puntos destacables son los hechos de que los registros eléctricos hasta ahora recogidos indican la alta interrelación existente entre el estado eléctrico del organismo el estado químico y otros estados. Al mismo tiempo, la hipótesis más general derivada de los trabajos sobre la EEG es la de que existe una especie de proceso homeostático que regula la actividad eléctrica de la misma manera que existe un principio homeostático que regula la mayor parte, sino toda, de la conducta. Así, la percepción es considerada como el proceso de explorar el campo visual en búsqueda de estímulos sensoriales, y la analogía de la televisión debe forzosamente modificar algo nuestro cuadro del sistema nervioso. Ya no es simplemente el sistema de una centralita de teléfonos, sino un sistema complejo del tipo de un ordenador que implica una codificación y decodificación de los mensajes que pasan por él. De todas formas, esto no es

contradictorio con la idea de un sistema telerónico, pero resulta algo más complejo que el tipo de sistema telefónico que se nos podría ocurrir inmediatamente.

LOCALIZACIÓN CORTICAL

Ahora vamos a discutir brevemente la localización cortical. La destrucción cortical, prescindiendo de su ubicación en el córtex, parece tener, al menos en las ratas, idéntico efecto en el aprendizaje. Hebb (1949) descubrió que podemos evitar la dificultad que esto implica para el funcionamiento específico si se constata que la destrucción de parte de una red neuronal no acarrea necesariamente la pérdida de la función asociada, sino que es un cortocircuito que permite retener la función asociada.

La teoría de Hebb de la agrupación de células, está estrechamente relacionada con el punto de vista clásico, sostenido durante mucho tiempo, de que el sistema nervioso debe establecer nuevas conexiones en la sinapsis cuando tiene lugar el aprendizaje. Existe ahora alguna evidencia comparativa para la presencia de estos botones sinápticos, que crecen con la edad, al menos durante el primer período del desarrollo. Hebb ha desarrollado sus propios puntos de vista sobre la base de su importante obra experimental sobre la percepción visual. Cree que tiene lugar una secuencia definida de estimulación nerviosa: la llama «secuencia de fase», mientras la persona está explorando, por ejemplo, una forma geométrica sencilla. Esta secuencia ordenada permite, si se realizan repeticiones adecuadas, el establecimiento de nuevas redes, facilitadas posiblemente por un tipo de pequeño crecimiento neuronal sugerido con anterioridad a una escala mucho mayor por Arien Kappers (1936) y Lorent de Nó (1938a, 1938b, 1947). Estos han introducido la idea de «circuitos reverberantes» la existencia de circuitos neuronales autoexcitadores cerrados y afirman haberlos observado. Hebb (1949) emplea esto para dar tiempo al necesario crecimiento neuronal, lo que conduce a la composición de la nueva red.

La noción de un circuito reverberante fue recogida por Hebb (1949),

quien hizo de ella una idea básica para la teoría neuropsicológica del aprendizaje. A partir de la obra inicial de Hebb, Milner (1957, 1960) ha propuesto una modificación que da a las sugerencias iniciales de Hebb una nueva plausibilidad neurofisiológica. Sin embargo, los hechos son como han sido esbozados por Hebb: se describe una red de células que crecen y se desarrollan mediante medios especializados tales como fraccionamiento y reclutamiento. Evidentemente, para una teoría de agrupación de células. Tenemos que incluir, como mínimo, conceptos tales como números de fibras que se disparan en cualquier momento, sensibilidad de la célula y fatiga neuronal (George, 1961). El punto más importante que debemos plantear ahora es que podemos representar fácilmente todas las agrupaciones de células mediante redes neuronales. Naturalmente podrían construirse en equipos, pero los esfuerzos que hasta ahora se han hecho en esta dirección sugieren que la agrupación inicial de células necesitaba al menos reconsideración (Rochester, Holland, Haikt y Duda, 1956).

Es difícil, en este breve apartado, ilustrar la profundidad y complejidad del tema, pero es importante el significado global de la nueva teoría: significa que existe la posibilidad futura de describir la conducta en los términos neuronales necesarios.

Debemos evitar un posible equívoco: el punto de vista expuesto dice simplemente que es necesario un análisis más detallado del organismo humano, si queremos conseguir una psicología predictiva minuciosa. Sin embargo, no debemos pensar que toda la temática de la psicología ha de estar integrada por proposiciones que tan sólo son de naturaleza matemática y neurológica. Estas proposiciones son necesarias para la psicología, pero han de transformarse en proposiciones, desde un punto de vista psicológico, descriptivas para la mayor parte de los fines prácticos. El problema global consiste en que una psicología descriptiva es inadecuada sin un modelo subyacente detallado que puede utilizarse para examinar de forma predictiva todos los detalles que no pudiéramos empezar respuesta a responder mediante el empleo únicamente de una teoría psicológica.

Examinaremos brevemente la naturaleza de estos progresos. Entre el estímulo y la respuesta suceden muchas cosas. La vida puede conside-

rarse que está integrada por pautas complejas y continuas de estímulos externos, ante los que el organismo, en un estado persistente de cambio, puede reaccionar. Ahora podemos desarrollar términos teóricos como «mente», «ego», etc., que intervienen entre el estímulo y la respuesta, y dar por terminada la cuestión aquí, o bien formular viéndose nuestros términos teóricos desde la neurología, y desde las ciencias biológicas en general.

Ambos enfoques son posibles, y creemos que el primero, por sí sólo es inadecuado para algunos de los fines más importantes para los que necesitamos una ciencia de la psicología. Pero la dificultad ha sido en realidad el nexo entre conducta y «sustrato» biológico. Esto se ha convertido ahora en una posibilidad y no sólo ha de llevar al desarrollo de una ciencia rigurosa de la conducta sino inhibir o también ha de permitir el desarrollo de una teoría descriptiva, fundada sobre una base firme y estable, mas que en las actuales arenas movedizas.

La importancia de la fisiología para la cibernética, y viceversa, es prácticamente la misma que para la psicología. Esto es inevitable porque, naturalmente, concebimos la fisiología y la psicología como si fuera fundamentalmente la misma temática, o al menos dos aspectos que se superponen de la misma temática.

La importancia de la fisiología consiste, naturalmente, en que describe formas de sistemas de control y comunicación. Esto nos permite comprender la conducta humana y, por consiguiente, el operador humano. Existen diferentes maneras de poder utilizar esta información, pero la más evidente consiste en simular la conducta humana. Pero también para la síntesis es de suma importancia nuestro conocimiento de posibles cambios fisiológicos.

Volvamos de nuevo a nuestra «caja negra». Sabemos lo que hace, y podemos predecir su conducta con alguna exactitud sólo mediante la observación externa. Pero para la descripción más detallada que pretenden los psicólogos, son imprescindibles los detalles fisiológicos «internos».

Lo mismo sucede cuando miramos un coche. Hasta cierto punto podemos predecir y comprender sin necesidad de mirar bajo el capó, pero más allá de este punto, es inútil, sobre todo cuando se para el motor.

La cibernética puede proporcionar modelos tanto en el nivel fisioló-

gico como en el nivel psicológico más amplio. Al hacer así, ha convertido sobre todo el sistema nervioso en una disciplina que en la actualidad se llama neurocibernética, no existe.

PROGRESOS RECIENTES

Los reflejos condicionados ha sido la base para gran parte de la investigación neurológica hasta hace poco. Por ejemplo, Doty (1965) demostró que la estimulación eléctrica del cerebro de macacos produce resultados sistemáticos significativos. Utilizó impulsos de 0,2-1,0 msec como estímulos condicionados y estos producían respuestas condicionadas de presión sobre una palanca. Descubrió que si en un punto concreto del córtex estriado, entonces comenzaba la presión sobre la palanca. También descubrió que se podía provocar esta respuesta condicionada por estimulación de otros puntos del córtex estriado, incluso cuando se estimulaba desde el área contralateral.

Debemos decir que Spinnelli y Pribram (1970) han demostrado que, con toda probabilidad, se efectúa una conexión funcional entre córtex visual y motor, sirviéndose de monos para obtener respuestas de discriminación en la presión de un panel. Estudiaron los tipos de ondas mediante electrodos implantados en el córtex visual y motor y demostraron que tras la ablación habían disminuido mucho las señales de conexiones funcionales. Buchwald y Hull (1967) han demostrado que una estimulación eléctrica de baja frecuencia de los núcleos caudados, ventrales o anteroventrales del tálamo inhibe los resultados de la conducta aprendida. Un nuevo estímulo aferente puede desinhibir este efecto: este estímulo puede inhibir o desinhibir (probablemente) como una función del estado interno existente sobre una del sistema nervioso.

Sharlock y otros (1965) han realizado otro experimento, demostrando que los gatos podían ser adiestrados a discernir diferencias entre secuencias de tonos. Entonces realizaron una ablación bilateral del córtex auditivo y aplicaron una prueba de retención. Elaboraron un mapa mostrando que ciertas áreas del córtex, cuando eran destruidas, no sólo destruían la retención sino que interrumpían el aprendizaje. Semmes y Mis-

hkin (1965) estudiaron el efecto de la ablación de la región senso-motora en monos. Los monos fueron sometidos a una prueba de discriminación táctil. Cuando emplearon la mano descubrieron que se retardaba su aprendizaje de discriminación de una forma difícil; también eran menos sensibles a superficies ásperas, aunque no a tamaños diferentes de objetos. Otro desarrollo reciente es el de Adey (1961), quien implantó electrodos en los lóbulos temporales de gatos y analizó sus cambios en un ordenador. Descubrió ciertas configuraciones de ondas características a las que llamó *approach rhythm* que asoció con el aprendizaje. Adey ha sugerido que el aprendizaje se asocia con cambios de configuraciones espaciales en las corrientes neuronales, lo que evoca los modelos de Hebb y Milner. En la actualidad conocemos hasta cierto punto la relación existente entre estado de conducta de un hombre, estado de consciencia y el registro electroencefalográfico (Schade y Ford, 1965). Por ejemplo, en un estado de atención vigilante en el que el sujeto se describe a sí mismo como concentrándose, existe un registro electroencefalográfico asociado de ondas características de baja amplitud parcialmente sincronizadas. Por otra parte, en el sueño profundo, donde no existe consciencia, se produce un registro EEG de ondas grandes y muy lentas, con pautas irregulares aleatorias. En un estado de intensas emociones, que pueden, naturalmente, ser simuladas de una manera artificial, existen estados, descritos de diversas maneras, de confusión, «atención» dispersa, etc., con un registro pasivo, EEG asociado de tipo desincronizado y de amplitud baja a moderada. También se producen frecuencias mixtas rápidas que acompañan a estos estados altamente emocionales.

Stellar (1960) considera el concepto de impulso como reduciendo los umbrales de las pautas de respuesta. Pero también supone que el grado de conducta motivada varía directamente con la actividad de ciertos centros excitadores en el hipotálamo. Stellar admite la interacción de centros hipotalámicos inhibidores y excitadores. Naturalmente, el mundo externo puede modificar este estado hipotalámico mediante estímulos sensoriales, y los estados externos intuyen en este estado hipotalámico a través del sistema vascular. También admite que las influencias corticales y talámicas producen una nueva influencia excitadora e inhibidora igual en el hipotálamo.

También Braitenberg (1967) ha descrito modelos derivados de la investigación histológica, y ha descrito estos y otros modelos en términos cibernéticos.

Se sabe que existen ciertos cambios en los estados neurofisiológicos que se correlacionan con el aprendizaje. El pensamiento está relacionado también con cambios neurológicos en las áreas temporales, parietales y frontales. Además, como indican Schade y Ford: «en general podemos decir que los mecanismos del lenguaje constituyen probablemente una condición para ciertos tipos de procesos del pensamiento y proporcionan una manera especial de tratar la información».

Sabemos que el pensamiento y la solución de problemas están relacionados entre sí, pero tal vez no sea lógico esperar que aún es posible distinguir uno de otro en el nivel neurológico.

UN MODELO DEL CEREBRO

En este capítulo suponemos explícitamente que el cerebro es un sistema para procesar datos, con una memoria muy grande, o conjunto de memorias (como las memorias rápidas y más lentas), que opera sobre la información codificada que pasa por las vías del sistema nervioso, en función de ciertas condiciones complejas.

Las vías sensoriales tratan principalmente de la entrada, y esta actividad de entrada está integrada en el complejo proceso reforzado selectivamente del cerebro. Está claro que las entradas sensoriales son sistemas de clasificación independientes y son parciales y adaptativas en su función. Actúan de una manera jerárquica como filtros para un sistema de clasificación superior parcial e integrado, que es, sin embargo, la memoria central.

Toda la información que se almacena en el cerebro ocurre en diferentes niveles de generalidad en la jerarquía, y es lógico esperar poder distinguir entre memorias de corta duración y memorias de larga duración: esto está relacionado con tipos de memoria principal por oposición a la auxiliar. Es necesario admitir que muchos hechos derivados de los organismos inferiores son engañosos si se aplican al cerebro humano,

que es mucho más complejo y tiene una capacidad de almacenamiento mucho mayor, considerando al ser humano no como receptor pasivo, sino como reactivo ante los estímulos. Lo que llamamos pensamiento «Libre» (por oposición al «ligado») nos recuerda que a veces el cerebro inicia la actividad como consecuencia de sus actividades conceptuales.

En la actualidad disponemos de más evidencias que sugieren que las localizaciones corticales son el centro de las memorias de nivel superior, donde tienen lugar los procesos conceptuales de manipular datos, hacer inferencias lógicas, etc. Se ha renovado la noción de localización cortical, considerada como dinámica más que estáticas. Parece cierto que las áreas corticales se superponen y realizan muchísimas funciones diferentes, según un organismo esté aprendiendo, utilizando información ya aprendida, construyendo hipótesis, etc.

La información se superpone en la memoria y la información detallada, al igual que los datos colocados en los registros del ordenador, puede variar de persona a persona y de vez en cuando en la misma persona. La comparación con el proceso de listas es evidente y sugiere que el cerebro humano ha transigido, en realidad, sobre la localización en favor de la flexibilidad. La formación parece estar asociada con la motivación y el impulso. Sin embargo, estas características son complejas, y están relacionadas con la selección, la activación. Además, prioridades, emergencias, etc., todas dentro del campo de un principio homeostático que atiende a las necesidades orgánicas del cuerpo para la supervivencia: evidentemente todas están interrelacionadas con las actividades corticales superiores (conceptuales) en la jerarquía. El sistema límbico está relacionado casi con seguridad con la actividad motivacional y es probablemente, como Pribram ha sugerido, el regulador de las disposiciones de los organismos, realizándose esta función mediante el empleo de homeostatos neuronales. Sin embargo, en el cerebro se producen actividades S-R de tipo reflejo (Spinelli y Pribram), pero se convierten en cierto sentido en un artefacto por lo que respecta al cerebro humano, si se conciben como base de la actividad neuronal. Dotey (1965), que ha empleado la terminología del condicionamiento, ha mostrado los detalles más minuciosos de las actividades de asociación y clasificación en la memoria, lo que también sugiere una relación muy estrecha entre áreas equi-

valentes en diferentes hemisferios. Aunque también sugiere que el crecimiento de la memoria ha modificado la noción de reflejo de dominante a recesivo.

La información visual es procesada inicialmente en las áreas occipitales del córtex, la información auditiva en las áreas temporo-parietales, etc. Es probable que las regiones que procesan el lenguaje sean las llamadas «áreas del lenguaje». Sin embargo, aquí surge el problema puesto que el lenguaje en el cerebro es complejo. Los seres humanos «vocalizan» como un tipo de actividad motora relativamente simple, mientras que simbolizan como una actividad conceptual de nivel muy alto. Los sonidos pueden formalizarse como palabras y oraciones y su expresión provoca una respuesta auditiva, que produce la traducción en símbolos. El lenguaje es motivado, pero él mismo motiva. Las palabras pueden evocar, o iniciar necesidades e impulsos. También el lenguaje está estrechamente relacionado con las imágenes, de modo que cuando los seres humanos «forman imágenes» o «imaginan algo», se estimula de alguna manera algún subconjunto del conjunto total de entradas sensoriales implicadas en la experiencia sensorial real.

Parece que los seres humanos aprenden a asociar ruidos, como los que representan palabras, con objetos, relaciones y otros factores conceptuales, de modo que debemos suponer que el cerebro humano almacena por separado lenguaje y datos. Aunque se almacenan separadamente, están asociados en última instancia, mediante algo parecido a un proceso de listas o un sistema complejo de referencias mutuas. Los seres humanos pueden «imaginar» un suceso del pasado y pueden formular enunciados sobre este suceso, tales como dar una descripción verbal de él. En realidad, los seres humanos tienden a hablar de sucesos cuando los «imaginan», y difícilmente pueden hablar de algo que no «imaginan». La conceptualización es un proceso que está íntimamente ligado al lenguaje, y se cree que es una función estrechamente relacionada con las áreas frontales del cerebro: existen algunos hechos neurofisiológicos importantes para esta creencia. La naturaleza jerárquica del cerebro sugiere que la generación de nuevos principios, fórmulas de recursión, meta-reglas, etc., que facilitan la solución de nuevos problemas, es fundamentalmente una actividad del lóbulo frontal.

La investigación en cibernética, en particular desde los campos de la síntesis y simulación mediante ordenadores, sugiere que el cerebro es, como se ha dicho, una memoria jerárquica compleja con la capacidad de hacer inferencias, deductivas e inductivas, y realizar computaciones, donde la actividad de computación de la matemática ha de ser aprendida y conceptualizada con anterioridad: esto es fácilmente realizable por el programador en un ordenador digital. Una cuestión importante es por qué no hay correlación más alta entre lesión cortical y alteración de la función. La búsqueda de engramas de la memoria de carácter dinámico propuesta por Lashley y otros ha sido en gran parte abandonada, de modo que parece necesario admitir el hecho de que la información detallada contenida en cualquier área cortical varía según el orden en que ha ocurrido en la historia de la persona afectada, o al menos en parte por esto y en parte por un sistema de referencias mutuas. En otras palabras, la información está contenida en las estructuras detalladas del sistema nervioso de manera que permite una superposición de funciones y detalles.

Una manera de introducir detalles y verificar la exactitud fundamental de los puntos de vista que hemos expresado, consiste en que un equipo de científicos construyan una simulación extensa y detallada del cerebro en un ordenador, insertando todos los detalles que se conocen con cierto nivel de confianza y añadiendo detalles «plausibles» hasta que el modelo esté totalmente conectado y sea eficaz: éste es una especie de sistema axiomático empírico. La principal prueba consiste en ver si, como cerebro, puede programar con éxito su medio ambiente, y ver si puede realizar esto de la misma manera que el cerebro humano.

En esta discusión de la organización general del cerebro humano, hemos eludido los detalles neurológicos. Por consiguiente, sería deseable poder determinar con exactitud qué función realizan los cuerpos amigdaloides del área 27 de Brodman, pero esto no es posible. Es un cuadro parecido al de la organización de un ordenador de multiproceso de la «cuarta generación» y tiene propiedades dinámicas.

En la actualidad, el cerebro es visto como un sistema de clasificación parcial, altamente adaptativo, organizado jerárquicamente, con un alto grado de especialización que se funde con un alto grado de funciones integradas que se superponen anatómicamente y fisiológicamente.

Las unidades básicas son los homeostatos de «función gradual» de Pribram, y es posible localizar, estadísticamente hablando, las principales áreas de influencia pasado y en el córtex, por ejemplo, para la conducta conceptual integrada que implica memoria de la interpretación de los sentidos especiales. El «sistema vertical», incluidos el tálamo y el sistema límbico, consiste fundamentalmente en representaciones emocionales relacionadas con el impulso y el refuerzo y están integradas y se cree estrechamente con el córtex. Entonces, el cerebelo, las vías asociadas y las áreas estrechamente relacionadas, forman parte del sistema de control motor que es tan necesario para los movimientos corporales visibles y organizados.

El córtex es el centro primario de las representaciones para todas las actividades cognitivas y debe contener «modelos» del «mundo externo» y las personas presentes en él, así como un «modelo» de la misma persona. Esta última función es fundamental para la consciencia y parece estar relacionada también con la función de la formación reticular: sin embargo, aquí dejamos el mundo de la evidencia existente y entramos en el mundo de la especulación.

Diferentes paradojas e incertidumbres (ausencia manifiesta de conocimientos) desempeñan también un papel importante en nuestra descripción todavía limitada de modelos del cerebro en la actualidad. Pero no hay duda alguna de que la aportación de Pribram a nuestra comprensión de la actividad del cerebro es importante. Sin embargo, como especialistas en cibernética podríamos pensar que no se ha prestado la suficiente atención al análisis lógico y metodológico: aquí es donde la cibernética puede realmente contribuir a la construcción de modelos del cerebro.

La obra inicial de Pribram ha recibido un nuevo impulso de sus escritos con su reciente obra *Languages of the Brain* (1971). Este trabajo coincide totalmente con sus escritos anteriores, pero subraya ciertas características adicionales.

Hace hincapié en que las neuronas y las conexiones neuronales desempeñan un papel importante en el diseño de modelos cerebrales. Este mecanismo con dos procesos explica, en efecto, los cambios de corta y larga duración en el tejido nervioso. Por consiguiente, la memoria de larga duración es considerada como una función de la estructura de co-

nexión y, los cambios neuronales de corta y larga duración son una función de la conducta neuronal. Se pone el acento en la recodificación como un instrumento poderoso en las características de adaptación y ambiente, cambios internos pertinentes para cambios de estados externos.

Como antes, TOTES¹ son considerados como mecanismos adaptativos para las operaciones de realimentación y regulación anticipatoria. El test de TOTE se asocia con el conjunto de impulsos nerviosos del mecanismo con dos procesos de la función cerebral.

La percepción y la memoria merecen un análisis especialmente detallado. Ambas son consideradas como no específicas y es notable la orientación hacia puntos de vista holistas (no estrictamente holistas, sino antimecanicistas) en autores tales como Lashley, Golsdtein y Köhler.

La obra reciente sobre hologramas merece también una discusión detallada, poniendo el énfasis en que la necesidad de mecanismos de finalidad especial, además de algunos simples sistemas de traducción o de clasificación, parece necesaria para explicar los mecanismos neuronales que subyacen en la percepción.

RESUMEN²

La fisiología aborda el problema de predecir la conducta, puesto que a veces el enfoque de la caja negra por la psicología experimental no presenta los detalles suficientes para establecer una predicción precisa. En efecto, esto significa abrir la caja negra y sustituir el concepto abstracto por una serie de mecanismos menos abstractos.

Alternativamente, podemos pensar que la fisiología proporciona cajas negras teorías moleculares que sustituyen a una caja negra molar. Entonces la fisiología intenta interpretar las subcajas en términos de neuronas, fibras, cerebros, etc.

La neurocibernética es una rama de la cibernética independiente, que

¹ Nota del traductor: TOTE deriva de Test-Operate-Test-Exit, y ha sido propuesto por Miller Galanter y Pribam.

² Un libro reciente de G. Sommerhoff, *Logic of the Living Brain*, John Wiley (1975), trata de muchos factores fundamentales para este capítulo.

pretende proporcionar modelos de las diferentes funciones del sistema nervioso y de los sentidos especiales. Existe aquí un puente entre redes neuronales y sistemas nerviosos idealizados y los sistemas nerviosos «reales» cuyas propiedades intentamos observar experimentalmente.

La fisiología proporciona, como la mayor parte de las ciencias, una interacción continua de modelos y observaciones experimentales.

Computación óptica¹

El término «computación óptica» describe a todo un conjunto de áreas de conocimiento que, usando esencialmente elementos ópticos, implementan sistemas y dispositivos encaminados a realizar tareas computacionales. Surge ahora la pregunta de por qué se intentan reproducir en el campo de la óptica sistemas ya implementados con éxito en electrónica, toda vez que la tecnología electrónica se encuentra desde hace años bastante desarrollada. La respuesta es que los sistemas de computación óptica se usan en aquellas aplicaciones donde la computación electrónica tradicional resulta inadecuada, debido a los altos índices de interconexión, velocidad, paralelismo y capacidad de almacenamientos requeridos. La óptica presenta la clara ventaja de que es algo esencialmente paralelo; la información contenida en las imágenes llega al observador de forma paralela. De otra parte, los haces ópticos que viajan por el espacio no presentan los problemas de interferencia electromagnética que sufren los equivalentes electrónicos. Si a esto unimos la alta velocidad de propagación de la luz y la gran capacidad de almacenamiento que presentan los dispositivos basados en tecnologías ópticas, se concluye que la óptica puede jugar un importante papel en el terreno de la computación.

El tema de la computación óptica ya ha sido tratado de manera brillante en estas mismas páginas (1). Este trabajo no pretende cubrir todos

¹ F. J. Gamo Aranda y P. Rodríguez Horche, publicado en, *Mundo Electrónico*, julio, 1998.

los aspectos tratados en aquel artículo; más bien, intenta mostrar una visión general de las disciplinas incluidas en lo que genéricamente se denomina computación óptica, con mención especial de aquellas que consideramos más interesantes y mostrando ejemplos de sistemas implementados con éxito.

COMPUTACIÓN ÓPTICA: UNA POSIBLE CLASIFICACIÓN

Como se ha señalado, la computación óptica engloba una serie de disciplinas diversas e interdependientes, entre las que se hallan la interconexión óptica, la holografía, la óptica no lineal, la conmutación óptica, los dispositivos acustoópticos y las redes neuronales, entre otras (2, 3). Cada una de estas disciplinas ha seguido una evolución particular, pero ha sido en los últimos años cuando se han empezado a usar de forma conjunta en el desarrollo de aplicaciones específicas (4).

Tabla 1.—Visión general de la computación óptica

Filtros de emparejado Analizadores de espectro Radar de apertura sintética	Redes neuronales ópticas Memorias asociadas	Computación digital óptica: conmutación óptica interconexión holográfica...
Lineal (analógico)	→ No lineal (analógico)	→ No lineal (binario)

La tabla 1 muestra una posible clasificación de las distintas arquitecturas de la computación óptica, atendiendo al grado de no linealidad usado en el procesado de los datos de entrada (5). En uno de los extremos de esta clasificación se encuentran los procesadores ópticos lineales, donde los datos de entrada no interactúan entre sí y el algoritmo viene fijado por la propia arquitectura hardware. El otro extremo está formado por sistemas digitales ópticos altamente no lineales, donde los datos están limitados a valores binarios, entre los que destacan los sistemas de conmutación e interconexión ópticas. En un estadio intermedio de no linealidad se encuentra las memorias asociativas y las redes neuronales ópticas.

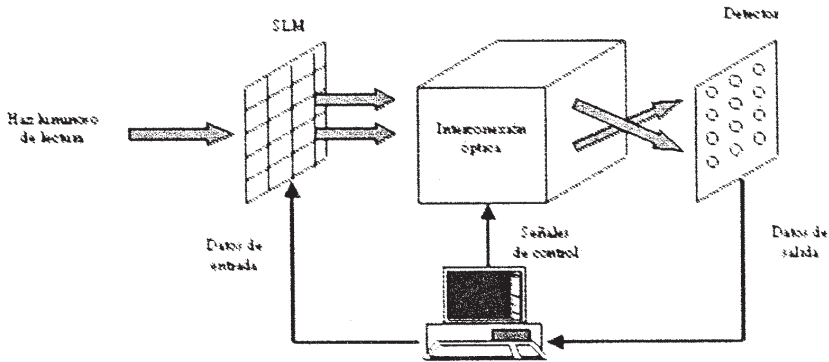


Figura 1.—Diagrama de bloques de una arquitectura computacional óptica generalizada.

La figura 1 muestra esquemáticamente una arquitectura computacional optoelectrónica genérica. Los actuales sistemas tienden a ser híbridos, en el sentido de que incluyen parte óptica y parte electrónica, mediante un modulador espacial de luz (SLM) se suministran los datos de entrada al sistema: dichos datos se interconectan entre sí mediante un algoritmo previamente fijado, y finalmente son recogidos en el plano de salida por el detector, que a su vez reenvía los datos al ordenador para realizar la siguiente iteración:

Componentes destacados en computación óptica

Moduladores espaciales de luz

El desarrollo de los SLM ha venido motivado por las propiedades de no linealidad óptica que es capaz de mostrar. La no linealidad en la respuesta se requiere para poder resolver problemas donde la solución posible no está perfectamente definida, como es el caso del reconocimiento de patrones o el control robótico, entre otros.

Los Moduladores Espaciales de Luz (SLM) son dispositivos reconfigurables en tiempo real, que sirven para cambiar a voluntad las propiedades físicas de la luz que incide sobre ellos (5). Al abandonar el dispo-

sitivo, la luz incidente (luz de lectura) viene codificada espacialmente con la información almacenada sobre el SLM.

Según el tipo de modulador de que se trate, el haz de luz puede ver modificada su amplitud, fase o polarización. La modificación de una de estas magnitudes del haz óptico se realiza conforme a otra señal (llamada señal de control/escritura/modulación), que puede ser o bien eléctrica, o bien óptica.

Se pueden hacer diversas clasificaciones de los SLM, si bien la más común está basada en el modo de *direccionamiento* del dispositivo, es decir, en la naturaleza del tipo de señal de control usada. Atendiendo a este criterio de clasificación hay dos tipos de SLM: Eléctricamente Direccionados (EASLM) y Ópticamente Direccionados (OASLM).

Los EASLM tienen una señal de entrada de tipo eléctrico. La modulación del haz de lectura lleva implícita, por tanto, la conversión de la señal de entrada del dominio eléctrico al óptico. Los OASLM, por el contrario, usan una señal óptica de modulación (haz de escritura), la cual modula a un segundo haz óptico (haz de lectura). Se trata, por tanto, de un dispositivo de entrada/salida óptico.

Elementos ópticos holográficos

La holografía es una técnica que permite la reconstrucción de un frente de ondas completo (amplitud y fase) previamente almacenado en un soporte óptico apropiado. En computación óptica, la holografía se emplea en el almacenamiento de información, realización de interconexiones ópticas y construcción de Elementos Ópticos Holográficos (HOE) de propósito específico. Estas dos últimas aplicaciones han cobrado pleno sentido con el desarrollo de los Hogramas Generados por Ordenador (CGR).

A diferencia de la holografía «tradicional», con la holografía por ordenador se pueden diseñar hogramas que reproducen objetos ficticios, existentes únicamente en el ordenador como imágenes 2D o 3D.

Los CGR más empleados en computación óptica son los de tipo *transformada de Fourier*, debido a la facilidad que presentan para reproducir el patrón deseado en el plano de salida.

Los ROE consisten en un material óptico sobre el que se ha grabado un CGR para desempeñar tareas que, de otra forma, deberían ser realizadas por varios elementos a la vez. Se obtienen así sistemas más compactos y económicos.

Células acustoópticas

El índice de refracción de un medio óptico se ve alterado en presencia del sonido. El sonido, por tanto, modifica el efecto del medio sobre la luz; esto es: el sonido puede controlar la luz. Una célula acustoóptica es un dispositivo que produce uno (régimen de Bragg) o varios (régimen de Raman-Nath) haces de luz difractados mediante la interacción de luz y sonido en el medio activo de la célula. Este efecto acustoóptico se emplea en Computación Óptica para realizar tareas de modulación, conmutación y encaminamiento de haces ópticos (7).

Moduladores espaciales de luz

La versatilidad, rapidez y no linealidad de estos dispositivos, los hacen elementos esenciales en todo tipo de sistemas, desde redes neuronales optoelectrónicas hasta corredores ópticos y sistemas de encaminamiento de señal. Las funciones que pueden realizar en estos dispositivos incluyen la conversión coherente-incoherente de luz, la interconexión óptica dinámica, el filtrado espacial y el almacenamiento temporal de información (2, 3, 5).

Redes neuronales artificiales

La tendencia generalizada en los últimos tiempos consiste en integrar dispositivos electrónicos y ópticos en sistemas híbridos, aprovechando las ventajas que la óptica y la electrónica ofrecen por separado. Ejemplos de tales sistemas computacionales híbridos son las redes neuronales

artificiales, empleadas en reconocimiento de imágenes, sistemas expertos de decisión y predicciones bursátiles, entre otras (2, 4).

HOE y CGH

Las aplicaciones de los HOE incluyen, además de los sistemas de interconexión óptica, el encapsulado y la miniaturización de toda clase de dispositivos computacionales optoelectrónicos de aplicación específica. Un ejemplo comercialmente disponible de esto último son algunos sistemas de lectura de discos compactos: el HOE se encarga de realizar el guiado y focalización del haz de lectura, así como la detección de la señal de error de dicho haz (8).

Como ya hemos señalado, las aplicaciones más comunes de los CGH en computación óptica son las *interconexiones ópticas*. La implementación de la matriz de pesos en ANN híbridas (2) y la conmutación de canales en sistemas de transmisión por fibras (3) son ejemplos de interconexiones ópticas (figura 4). Interesa que estas interconexiones se realicen de forma *dinámica* (es decir, que las conexiones puedan cambiar en el tiempo, según lo requiera la aplicación específica). Para ello, los CGH se implementan sobre SLM, aprovechando la capacidad de conmutación de estos últimos (6).

En este artículo se ha intentado mostrar brevemente algunas disciplinas relevantes englobadas en lo que se denomina computación óptica, concentrando la atención especialmente en las ANN, los CGH y los SLM, campos con un gran desarrollo durante los últimos años, a tenor del número de publicaciones producidas. Aun así, hoy en día continúa siendo utópico hablar de una computación óptica independiente y autónoma; la electrónica sigue jugando un papel clave en los sistemas propuestos hasta la fecha. La tendencia actual, por tanto, se orienta hacia el uso conjunto de ambos campos, aprovechando las ventajas individuales ofrecidas por cada uno.

Agradecimientos a los autores quisieran agradecer la financiación recibida del CICYT a través del proyecto de investigación TIC94-0053, para la realización del presente artículo.

REFERENCIAS

- (1) Martín-Pereda, J. A. y González Marcos, A. (1990): «Panorámica global de la computación óptica: una visión parcial», *Mundo Electrónico*, 208, 55-66.
- (2) Yu, F. T. S. y Jutamulia, S. (1992): *Optical signal processing, computing and neural networks*, John Wiley & Sons Inc.
- (3) Li, Y., Tanida, J., Tooley, F. y Wagner, K. (1996): «Specialissue on optical computing», *Applied Optics*, 35, 8.
- (4) Amo Arada, F. J. y Rodríguez Corche, P. (1996): «Estudio de arquitectura de redes neuronales para reconocimiento remoto de patrones a través de fibra óptica», Libro Actas XI Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI'96, Valladolid, septiembre.
- (5) Efron, U. (1995): *Spatiallight modulator technology*, Marcel Dekker Inc.
- (6) Gourlay, J. y Samus, S. et al. (1994): «Real-time binary phase holograms on a reflective ferroelectric liquid-crystal spatiallight modulator», *Applied Optics*, 33, 35, pp. 8251-8254.
- (7) Vanderlugt, A. (1992): *Optical signal processing*, John Wiley & Son.
- (8) Yu, F. T. S. y Jutamulia, S. (1996): *Optical storage and retrieval*, Marcel Dekker Inc., ME.

Computación cuántica con moléculas¹

En descomponer en primos un número de 400 dígitos —un desafío aritmético necesario para descerrajar algunos códigos de seguridad— tardarían miles de millones de años nuestros supercomputadores más veloces. Pero un tipo de ordenador de invención reciente, fundado en interacciones mecanicuánticas, podría ejecutar la tarea en un año, arruinando con ello la mayoría de los sistemas criptográficos, por complejos y refinados que sean. Pero no hay que preocuparse por la información reservada, pues nadie ha conseguido construir un computador cuántico operativo. Lo que sí ha quedado demostrada es la viabilidad de ese camino. El ordenador de marrras, que no se parecería en nada al de nuestra mesa de trabajo, pudiera confundirse muy bien con la taza de café que solemos dejar al lado.

Igual que otros autores, nosotros creemos que llegará el día en que los computadores cuánticos, fundados en las moléculas de un líquido, venzan las dificultades que atenazan a los ordenadores clásicos. Los principales obstáculos que se interpondrán en el avance de los ordenadores actuales tendrán que ver con los límites físicos de la miniaturización (ni los transistores, ni las conexiones eléctricas pueden hacerse más delgados que el diámetro de un átomo). O tal vez vengán determinados por razones prácticas: será costosísima la fabricación de microcircuitos más potentes. Sin embargo, las posibilidades mágicas de la mecánica cuántica encierran, quizá, la clave de resolución de ambos problemas.

¹ Gershenfeld, N. E. L., Chuang, Isaac, publicado en *Investigación y Ciencia*, agosto, 1998.

La ventaja de los ordenadores cuánticos reside en la forma en que codifican un bit, la unidad fundamental de información. En un ordenador digital clásico, el estado de un bit queda especificado mediante un número, 0 o 1. En consecuencia, para describir una palabra binaria de n bits se recurre a una cadena de n ceros y unos. Un bit cuántico, un *qu-bit*, podría representarse mediante un átomo en uno u otro de dos estados diferentes, designables por 0 y 1. Dos *qu-bits*, lo mismo que dos bits clásicos, pueden alcanzar cuatro estados distintos y bien definidos: 0 y 0, 0 y 1, 1 y 0 o 1 y 1.

A diferencia de los bits clásicos, sin embargo, los qubits pueden existir a la vez siendo 0 y 1; la probabilidad de cada estado viene dada por un coeficiente numérico. Para describir un ordenador cuántico de dos qubits habrá que emplear, por tanto, cuatro coeficientes. En general, n *qu-bits* requieren 2^n números, lo que muy pronto se convierte en un conjunto considerable para valores mayores de n . En efecto, con n igual a 50, se requieren unos 1.015 números para describir las probabilidades de todos los posibles estados de la máquina cuántica: una cifra que excede la capacidad del mayor ordenador clásico. El ordenador cuántico entraña una potencia enorme, por una doble razón. Puede encontrarse a la vez en múltiples estados —fenómeno de superposición— y actúa simultáneamente en todos sus estados posibles. De donde se ve que el ordenador cuántico podría realizar de manera natural una miríada de operaciones en paralelo sin más que una unidad de proceso.

Gozan los qubits de otra propiedad más curiosa todavía, y práctica. Imagínese un proceso físico que emite dos fotones (paquetes de luz), uno hacia la izquierda y otro hacia la derecha, donde los dos fotones porten, orientaciones opuestas (polarizaciones) en razón de sus campos eléctricos oscilantes. Mientras no se detecte, la polarización de cada fotón es indeterminada. Según señalaron Albert Einstein y otros a principios de siglo, en el instante en que una persona mide la polarización de un fotón, el estado de la otra polarización queda inmediatamente fijado, sin importar cuán lejos se encuentre. Esa acción instantánea a distancia es harto curiosa. Gracias a dicho fenómeno, los sistemas cuánticos desarrollan una conexión misteriosa, un enredo, que sirve para poner en conexión los *qu-bits* de un ordenador cuántico. Se trata de la misma pro-

iedad que permitió a Anton Zeilinger y colaboradores, de Innsbruck, demostrar el teletransporte cuántico.

En 1994 Peter W. Shor de AT&T acertó en cómo sacarle partido a los fenómenos de enredo y superposición para descomponer un entero en sus factores primos. Descubrió que en un ordenador cuántico podría, en principio, realizar la tarea de un modo mucho más veloz de lo que si pudiera conseguirse con la mejor calculadora clásica. El hallazgo resonó como una bomba. De repente quedó en entredicho la seguridad de los sistemas de encriptación, que fían, según es sabido, en la dificultad de descomponer en primos números muy grandes. Al ser muchas las transacciones financieras que se blindan tras esos métodos de encriptación, el resultado de Shor sacudió los cimientos del mundo de la economía electrónica.

Nadie había imaginado que tal descalabro vendría provocado desde disciplinas ajenas a la informática o a la teoría de números. En adelante, y por culpa del algoritmo de Shor, los informáticos empezarán a aprender mecánica cuántica y los físicos abrirán su abanico de intereses a la informática. Cuantos se acercaron al descubrimiento de Shor vieron en seguida que la construcción de un ordenador cuántico funcional opondría una resistencia diabólica. El problema estriba en que cualquier interacción (o casi) que un sistema cuántico tenga con su entorno, piénsese en el choque de un átomo contra otro o contra un fotón errante, constituye una medición. La superposición de estados mecanocuánticos se resuelve en un solo estado bien definido; y éste es el que el observador detecta. Dicho fenómeno de decoherencia, así se llama, imposibilita cualquier cálculo cuántico ulterior. Al objeto de mantener, pues, la coherencia, las operaciones internas de un ordenador cuántico deben separarse de su entorno. Mas, a la vez, han de ser accesibles para que puedan cargarse, ejecutarse y leerse los cálculos.

Los trabajos que nos han precedido, de los que citaremos por su elegancia los experimentos de Christopher R. Monroe y David J. Wineland, del Instituto Nacional de Pesas y Medidas, y de H. Jeff Kimble, del Instituto de Tecnología de California, se propusieron salvar el escollo mediante un escrupuloso aislamiento del corazón mecanocuántico de sus ordenadores. A este respecto, los campos magnéticos pueden atrapar

unas pocas partículas cargadas, que pueden luego enfriarse en estados cuánticos puros. Pese a tales esfuerzos sólo se han logrado operaciones cuánticas rudimentarias; por un doble motivo: estos dispositivos actúan con muy pocos bits y enseguida pierden coherencia.

¿Cómo podría, pues, operar un ordenador mecanocuántico que necesitara un aislamiento tan estricto de su entorno? Fue el año pasado cuando caímos en la cuenta de que un líquido ordinario podía realizar todos los pasos de un cálculo cuántico: cargar una condición inicial, aplicar las operaciones lógicas a suposiciones enredadas y leer el resultado final. Junto con otro grupo de la Universidad de Harvard y del instituto de tecnología de Massachusetts, descubrimos que las técnicas de resonancia magnética nuclear (RMN) —similares a los métodos empleados para la formación de imágenes por resonancia magnética— podían manipular información cuántica en fluidos clásicos.

Sucedee que podemos abordar con limpieza el problema de la decoherencia si llenamos un tubo de ensayo con un líquido constituido por moléculas apropiadas; esto es, sirviéndonos de muchísimos ordenadores cuánticos individuales en vez de ceñirnos a uno solo. Si representamos cada qubit por un conjunto nutrido de moléculas, podremos dejar que las mediciones interaccionen con algunas. De hecho, los químicos, que han utilizado la RMN durante décadas para estudiar moléculas complejas, han venido realizando computación cuántica sin saberlo.

La resonancia magnética nuclear opera sobre partículas cuánticas de los núcleos atómicos de las moléculas del fluido. Las partículas con espín, que actúan a modo de pequeñas barras magnéticas, se alienarán con un campo magnético; esas alineaciones corresponden a dos estados cuánticos con diferente energía, lo que naturalmente constituye un qubit. Podría suponerse que el espín paralelo corresponde al número 1 y que el espín antiparalelo corresponde a dos estados cuánticos con diferente energía, lo que naturalmente constituye un *qu-bit*. Podría suponerse que el espín paralelo corresponde al número 1 y que el espín antiparalelo corresponde al número 0. El espín paralelo tiene menor energía que el antiparalelo, en una cuantía que depende de la intensidad del campo magnético externo aplicado. Por lo común, en un líquido suele haber tantos espines de una orientación como de otra. Pero el campo aplicado desde

fuera favorece la creación de espines paralelos, con lo que se produce un ligero desequilibrio entre los dos estados. Tal exceso mínimo, del orden de un núcleo entre un millón, se mide durante un experimento de RMN.

Amén de ese telón de fondo constituido por un campo magnético fijo, en los procesos de RMN intervienen campos electromagnéticos variables. Aplicando un campo oscilante de la frecuencia precisa (determinada por la magnitud del campo fijo y las propiedades intrínsecas de la partícula involucrada), podemos provocar que algunos espines basculen entre estados. Y ese fenómeno nos permite reorientar a voluntad los espines nucleares. Pongamos un ejemplo. Podemos forzar que los protones (núcleos de hidrógeno) alojados en un campo magnético fijo de 10 tesla cambien de dirección aplicando un campo magnético que oscile a unos 400 megahertz, frecuencias de radio. Mientras intervienen a lo largo de escasas millonésimas de segundo, las ondas de radio provocarán que los espines nucleares giren en la dirección del campo oscilante, dispuesto en ángulo recto con el campo fijo. Si el pulso oscilante de radiofrecuencia perdura lo suficiente como para hacer girar 180 grados los espines, el exceso de núcleos magnéticos antes alineados en paralelo con el campo fijo apuntarán ahora en sentido opuesto, antiparalelo. El pulso que dure la mitad dejará las partículas con equiprobabilidad de alinearse paralelas o antiparalelas.

De acuerdo con la mecánica cuántica, los espines se hallarán simultáneamente en ambos estados, 0 y 1. El cuadro clásico de esta situación nos ilustra el eje del espín de la partícula formando ángulo de 90 grados con el campo magnético fijo. Luego, a la manera de una peonza que se inclina alejándose de la fuerza vertical de la gravedad, el eje del espín de la propia partícula gira, desarrolla un movimiento de precesión en torno al campo magnético, yendo y viniendo con una frecuencia característica. Mientras se comporta así, emite una débil señal de radio, recogida por un aparato de RMN.

En un experimento con RMN, las partículas no se limitan a sufrir el campo aplicado, sino que cada núcleo atómico deja sentir su influencia en el campo magnético circundante. En un líquido, el movimiento constante de las moléculas uniformiza la mayoría de las ondulaciones magnéticas locales. Pero un núcleo magnético puede afectar a otro de la

misma molécula cuando perturba los electrones en órbita alrededor de ambos.

En vez de plantear ningún problema, esta interacción en el interior de la molécula resulta muy valiosa. Permite construir con dos espines nucleares una «puerta lógica», la unidad básica de cómputo. En nuestros experimentos con dos espines utilizamos cloroformo (CHCl_3). Nos interesaba aprovechar la interacción entre los espines de los núcleos de carbono e hidrógeno. Puesto que el núcleo del carbono 12, isótopo común, no tiene espín, utilizamos cloroformo cuyo carbono portaba un neutrón extra, que le imparte un espín global.

Supongamos que el espín del hidrógeno se dirige hacia arriba o hacia abajo, paralelo o antiparalelo a un campo magnético aplicado verticalmente, mientras que el espín del carbono señala decididamente hacia arriba, paralelo al campo magnético aplicado. Con un pulso de radiofrecuencia bien proyectado, podemos inducir el giro del espín del carbono hacia abajo, en el plano horizontal. El núcleo de carbono progresará en precesión hacia la vertical, con una velocidad de rotación que dependerá de que el núcleo de hidrógeno de dicha molécula sea también paralelo al campo aplicado. Tras cierto tiempo, el carbono señalará en un sentido o en el opuesto, según que el espín del hidrógeno vecino apunte hacia arriba o hacia abajo. En ese instante, aplicamos otro pulso de radiofrecuencia para girar el núcleo de carbono otros 90 grados. Esta maniobra invierte el núcleo de carbono hacia abajo si el hidrógeno adyacente mira hacia arriba, o hacia arriba si el hidrógeno miraba hacia abajo.

Este conjunto de operaciones corresponde a lo que los ingenieros electrónicos denominan puerta lógica O disyuntiva, y debiera mejor llamarse puerta NO bajo control (en el sentido de que el estado de entrada uno controla si la señal presentada en la otra entrada se invierte a la salida). Los ordenadores clásicos requieren puertas similares de doble entrada y puertas NO de una sola entrada más sencillas; en 1995, sin embargo, se demostró que los cálculos cuánticos pueden desarrollarse mediante rotaciones aplicadas a espines individuales y puertas NO bajo control. La verdad es que esta puerta lógica cuántica es mucho más versátil que su contrapartida clásica, por la sencilla razón de que los espines en que se basa pueden hallarse en superposición de estados arriba y

abajo. Lo que significa que puede ejecutarse simultáneamente la computación cuántica en una combinación de entradas que se dirían incompatibles.

En 1996 acordamos con Mark G. Kubinec, de la Universidad de California en Berkeley, construir un modesto ordenador mecanicocuántico, de dos bits, a partir de un dedal de cloroformo. La preparación del dispositivo de entrada, aunque sea para un dispositivo de dos bits, no es tarea sencilla. Exige que una serie de pulsos de radiofrecuencia transforme los núcleos incontables del líquido experimental en un grupo ordenado que presente los espines en exceso, dispuestos de la forma correcta. A continuación, estos qubits deben modificarse secuencialmente. En oposición a lo que acontece con los bits de un ordenador clásico, que viajan en orden a través de una red de puertas lógicas conforme se desarrolla el cálculo, los qubits no van a ningún lado. Antes bien, se les trae a las puertas lógicas con dichas manipulaciones de RMN. En esencia, el programa a ejecutar se compila en una serie de pulsos de radiofrecuencia.

Conseguimos que pusiera en práctica las posibilidades únicas de la computación mecanicocuántica. El cálculo en cuestión seguía un ingenioso algoritmo de búsqueda ideado por Lov K. Grover, de los Laboratorios Bell. En un ordenador, la búsqueda típica de un elemento que se encuentra en algún lugar de una base de datos de n elementos necesitará, en promedio, cerca de $n/2$ intentos para descubrirlo.

Con la búsqueda cuántica de Grover, maravillosamente, se recupera el elemento deseado en (\sqrt{n}) intentos. A modo de ejemplo de este ahorro, demostramos que nuestro ordenador cuántico de dos qubits podía encontrar, en un solo paso, un elemento determinado escondido en una lista de cuatro posibilidades. La solución clásica de este problema es análoga a abrir un candado de dos bits al azar: no es verosímil dar con la combinación correcta a la primera. El método clásico de resolución necesitará, en promedio, de dos a tres intentos, mayor, que el número de átomos de la molécula empleada. Con el equipo de RMN disponible, los mayores ordenadores cuánticos que podríamos construir contarían sólo con unos 10 *qu-bits* (porque a temperatura ambiente la intensidad de la señal decrece vertiginosamente, conforme aumenta el número de núcleos magnéticos de la molécula). Si se diseñaran instrumentos de RMN especiales

para determinada molécula, podríamos triplicar o cuadruplicar ese número. Mas para crear ordenadores mayores, habría que desarrollar, entre otras, técnicas de bombeo óptico que enfriaran los espines. Dicho de otro modo: la luz de un láser adecuado ayuda a alinear los núcleos con la misma eficacia que si eliminamos el movimiento térmico de las moléculas, aunque sin congelar el líquido y demoliendo su capacidad de mantener tiempos de coherencia prolongados.

Podrían, pues, construirse computadores cuánticos mayores. Pero, ¿qué velocidades alcanzarían? El tiempo de ciclo de un computador cuántico lo establece la más lenta de velocidades a las que los espines basculan, parámetro que, a su vez, viene impuesto por las interacciones entre espines. Se sitúa entre centenares de ciclos por segundo y escasas unidades de ciclos por segundo. Aunque una celeridad de varios ciclos de reloj cada segundo pudiera parecernos exasperante en comparación con la velocidad de megahertz con que operan los computadores normales, un computador cuántico con qubits suficientes alcanzaría tal paralelismo cuántico, que en un solo año resolvería la descomposición en números primos de una cifra de 400 dígitos.

Ante semejante perspectiva, hemos meditado sobre las posibilidades de la construcción real de un computador cuántico. El problema no está en hallar moléculas con suficientes átomos. Lo frustrante empieza luego: conforme crece el tamaño de una molécula, las interacciones entre espines alejados se desvanecen tanto que no podemos emplearlas de puertas lógicas. Pero no está todo perdido. Seth Lloyd, del MIT, ha demostrado que, en principio, podrían construirse computadores cuánticos, aun cuando cada átomo interaccionará con sólo sus vecinos inmediatos, a la manera en que proceden los computadores en paralelo de nuestros días. Ese prototipo de computador cuántico podría fabricarse con largas moléculas de hidrocarburos, recurriendo asimismo a las técnicas de RMN. Los espines de muchos núcleos atómicos, ligados en largas cadenas, servirían entonces de *qu-bits*.

Otro freno contra la realización práctica de la computación de RMN reside en la coherencia. Los núcleos en rotación de un fluido empezarán a perder coherencia tras un intervalo que podemos cifrar entre segundos y minutos. Los mayores tiempos de coherencia para líquidos, compara-

dos con los tiempos de ciclo característicos, sugieren que podrían realizarse unas 1.000 operaciones sin perder la coherencia cuántica. Para nuestra fortuna, podemos ensanchar ese límite mediante la incorporación de *qu-bits* adicionales que enmienden los errores cuánticos.

Para detectar y corregir errores, los computadores clásicos emplean bits extra. Nadie imaginaba, sin embargo, lo que demostraron Shor y otros: en mecánica cuántica acontecía otro tanto. Creíase, ingenuamente, que la corrección cuántica de errores precisaría la remediación del estado del sistema, con la demolición consiguiente de la coherencia cuántica. Resulta, sin embargo, que los errores cuánticos pueden corregirse dentro del computador sin que el ejecutor tenga que leer el estado erróneo. Pese a todo, no será fácil conseguir un computador cuántico cuyas proporciones le permitan entrar en liza con los más rápidos de los clásicos. Pero el reto merece la pena. Los computadores cuánticos, por modestos que sean, se convertirán en soberbios laboratorios naturales donde poder estudiar la mecánica cuántica. Con semejantes dispositivos y la ejecución de un programa adecuado, podrán abordarse otros sistemas cuánticos que revisten interés fundamental.

Por ironía de las cosas, los computadores cuánticos podrían ayudar a científicos e ingenieros en la resolución de los problemas que se les plantean en la creación de microcircuitos ínfimos con transistores mínimos; muestran éstos un comportamiento mecanocuántico cuando la reducción de su tamaño llega al límite de las posibilidades.

Tal vez la cara más sonriente del asunto la ofrezca el convencimiento de que su fabricación no precisará imprimir circuitos finísimos de escala atómica ni de cualquier otra filigrana de la nanotécnica. La naturaleza se ha encargado ya de ejecutar la parte más ardua del proceso mediante la reunión de los componentes fundamentales.

La teoría de la Tierra inteligente

DEFINICIÓN

La Tierra incluyendo todos los aspectos de la materia y la mente, muestra una construcción virtualmente indistinguible de la de un ordenador, y todos sus fenómenos tienen la naturaleza de procesos de datos inteligentes. Así, por brevedad, lo describimos como una Tierra inteligente.

EL ENFOQUE

La idea central es que la Tierra entera es simplemente una vasta mente. Esta no es una idea nueva, ya que Platón sostuvo hace más de dos mil años un punto de vista similar en su «mundo de las ideas». Más recientemente, en este siglo, sir Arthur Eddington opinaba de forma parecida cuando declaró: «Comenzamos a sospechar que la materia de este mundo es materia mental.»

Mi propia convicción en cuanto a lo acertado de esta tendencia filosófica se ha ido fortaleciendo gradualmente debido a mi involucramiento profesional en la electrónica moderna. Tal electrónica moderna es el arte de manejar la información o los datos, por medio de modelos de ondas eléctricas que pueden estar incorporadas en algún aparato tal como un ordenador o bien viajar por el espacio a la velocidad de la luz, como en las emisiones de radio y televisión.

Todos estos dispositivos o fenómenos desarrollados por el hombre están relacionados solamente con el manejo de datos con propósitos profesionales, de ocio o de comunicación. Pero si uno aplica instrumentos a esos sistemas para ver qué ocurre dentro de ellos, por ejemplo, un osciloscopio de rayos catódicos, lo único que se ve son vibraciones y formas de onda danzarinas.

Pero si a continuación uno se vuelve hacia el universo natural y lo analiza en términos de materia sólida tangible o de radiaciones como la luz, encuentra un estado de cosas similar.

Se hará evidente que las radiaciones luminosas naturales a través de la atmósfera son extremadamente similares a las comunicaciones por radio y televisión que realiza el hombre, puesto que ambas forman parte de un mismo espectro electromagnético y la única diferencia es que la luz vibra bastante más deprisa que la radio. Puesto que el 99% de la energía total del universo consiste en luz y otras radiaciones cósmicas, y puesto que el único uso que el hombre ha encontrado para radiaciones similares es la transmisión de datos, no sería demasiado extraño suponer que las radiaciones cósmicas naturales existen esencialmente con el propósito de transmitir algún tipo de datos.

La idea de que la materia sólida tangible es también intrínsecamente «datos» no es tan obvia. Pero en 1927, Luis de Broglie, demostró que dicha materia puede ser considerada igualmente una onda o un sistema vibratorio, y la anterior teoría cuántica de Max Planck había representado la estructura del átomo de manera similar en términos de movimientos ondulatorios de los electrones en órbita. Todos estos hallazgos indicaban que la única manera de describir la materia en sentido fundamental era utilizar ecuaciones matemáticas más bien que verla como un conglomerado de bolas de billar microscópicas, y por esta razón, el profesor Eddington, comenzó a sospechar hacia 1927 que «la materia del mundo es materia mental», aunque más bien materia mental matemática.

Si no hubiera habido más descubrimientos científicos relevantes desde los años veinte, creo que esta clase de concepto habría quedado tan sólo como una interesante especulación metafísica. Pero desde la última guerra se han producido dos descubrimientos tremendamente significativos, uno en el campo de la biología molecular y el otro en el desa-

rrollo de la informática. Ambos son igualmente significativos y sus implicaciones son igualmente devastadoras.

BIOLOGÍA MOLECULAR

La biología molecular es un desarrollo de los últimos diez años que surgió de las creencias biológicas anteriores que atribuían a los genes de los cromosomas el papel fundamental en el desarrollo de la estructura de las criaturas vivas. Los avances en el análisis químico mostraron que lo decisivo no era el pequeño gen, sino las sustancias químicas individuales que lo componían, y en particular ciertas moléculas conocidas como ácidos nucleicos (ADN). Este ADN no se diferencia de las demás sustancias inertes excepto por la naturaleza de la estructura de sus átomos. Es virtualmente un «esquema de la vida», y contiene toda la información, o los datos, para el desarrollo de ésta y la conservación de la salud, así como para la diferenciación de todas las especies, desde una hoja de hierba, hasta un hombre. Pero, ¿cómo puede esto ser posible a menos que esas moléculas «inertes» de ADN sean realmente datos y nada más que datos? Así, mientras sir Arthur Eddington comenzaba a considerar la materia sólida «materia mental» o datos a causa de su contenido matemático central, nos encontramos ahora en el campo de la química orgánica con que los datos de la materia inerte pueden contener la diferencia entre, un elefante y una jirafa. El resultado de esto para el biólogo molecular que tiene que desentrañar los secretos ocultos es que ya no tiene más opción que tratar tales ácidos nucleicos como complejos de datos y utiliza los métodos informáticos de desciframiento de códigos.

QUÍMICA

El biólogo molecular no tiene más que tratar estas sustancias químicas concretas como información codificada, y convertirse en un descifrador de código. Pero si dirigimos nuestra atención a la gama completa de sustancias químicas encontramos una situación enteramente paralela

en el hecho de que cada uno de los de alrededor de cien diferentes elementos químicos está específicamente digitalizado por el número de electrones en sus órbitas o por el número de nucleones en sus núcleos, y esta información específica es simplemente un código numérico. Puedo describir un elemento como «nitrógeno», pero igualmente podría llamarlo «siete», su número atómico.

Pero lo interesante es que estos números digitalizados son el resultado de modelos de ondas eléctricas naturales específicas (teoría cuántica), y cada molécula tiene un modelo de ondas diferente pero específica, un código específico, datos específicos.

INFORMÁTICA

La informática funciona mediante la interacción de un modelo electrónico (el programa) con otros (las memorias de datos) para producir nuevos modelos electrónicos (procesamiento de datos). Esto es exactamente lo que ocurre en la química natural, donde un ácido es un programa para producir una sal. Esto es también lo que ocurre en la naturaleza con la bellota que sirve como programa para producir una encina.

Todo esto sugiere que los procesos naturales de la Tierra son casi idénticos a los procesos de datos que tienen lugar dentro de un ordenador, y la siguiente tabla desarrolla la correspondencia completa.

El ordenador	La tierra
<p>La estructura de la información en un ordenador (datos) sigue siempre un modelo eléctrico (datos codificados) formado por dígitos elementales idénticos.</p>	<p>La estructura de la materia física está también digitalizada en partículas elementales como los electrones, neutrones, etc., y las características más significativas de los diferentes tipos de materia corresponden a diferentes modelos eléctricos.</p>
<p>2. Proceso de datos. La conversión de datos mediante procesamiento es llevada a cabo por la superposición de uno de los modelos eléctricos (el programa) sobre una serie de datos almacenados (memorias) que también están estructurados eléctricamente, y el resultado de este procesamiento es un nuevo modelo eléctrico. De modo que el procesamiento de datos en ordenadores es en su totalidad un asunto de transformaciones de modelos eléctricos.</p>	<p>Las transformaciones de la materia física se llaman «química» y tiene lugar mediante la transformación de modelos eléctricos relacionados con las órbitas de los electrones alrededor del núcleo del átomo. De modo que la química natural puede considerarse procesamiento de datos natural.</p>
<p>3. Programas de datos. En un ordenador los datos existen en dos niveles diferentes, como programas y como memorias. Los programas son superiores a las memorias en potencia y eficacia, puesto que pueden modificarlas, y no pueden ser modificados por ellas. Más adelante, llamaré «inteligencia» a esta diferencia cuando es un potencial y «voluntad» cuando efectivamente se realiza el proceso de datos.</p>	<p>En la tierra física hay evidencia de que en los procesos químicos ciertas sustancias gozan de un nivel superior, o un nivel de programación. Así una bellota es un programa para un encina, y puede ser considerada más inteligente que los datos elementales de agua y dióxido de carbono que componen dicho árbol. En un nivel más infinitesimal el ADN (ácido desoxirribonucleico) puede ser considerado el programa que produce la bellota y, por tanto, tiene un nivel elevado de inteligencia.</p>
<p>4. Letras y palabras. En un ordenador, establecemos una convención de modelos de cargas eléctricas (dígitos binarios) que puedan tener un significado. Así, puede haber un modelo eléctrico simple que representa la letra C, mientras que otro más complicado puede representar la palabra «gato negro». De este modo se establecen un lenguaje y una gramática por medio de modelos eléctricos.</p>	<p>En el mundo físico natural se establece un lenguaje letras y palabras mediante los diferentes elementos y compuestos químicos en la que los elementos son letras y los compuestos palabras. Parece que la naturaleza utiliza dos alfabetos: uno largo de alrededor de cien letras, cien elementos químicos, para la construcción de las palabras de la química inorgánica, y otro corto que utiliza las letras «hidrógeno», «carbono», «nitrógeno» y «oxígeno» para las palabras de la química orgánica que generalmente reconocemos como elefantes y jirafas.</p>

El ordenador	La tierra
<p>5. Transmisión de datos. La transmisión de datos en el ordenador se realiza mediante una ondulación de modelos eléctricos. De este modo los datos pueden moverse de un sitio a otro.</p>	<p>La transmisión de datos en la naturaleza se realiza mediante las ondas electromagnéticas equivalentes que conocemos como luz, rayos X, rayos cósmicos y otras variedades de radiación.</p>

Los datos sustituyen a la energía como la materia prima del universo.

El físico generalmente considera la energía como la materia prima principal del universo, que se organiza de diferentes maneras cuyas expresiones matemáticas denominamos Leyes Naturales.

La hipótesis del universo inteligente considera más bien este tipo de organización como la materia prima, con el nombre de datos. Además, esta primacía de los datos debe ser considerada como objetivamente presente y no como una mera abstracción de ideas del observador humano. Así, el fundamento de la realidad objetiva son los datos objetivos, y de hecho esto nos recuerda mucho a la expresión religiosa: «En el principio era la palabra». Así pues, todo cuando existe es una construcción de letras cósmicas, palabras cósmicas y pensamiento cósmico. El profesor Eddington estaba en lo cierto cuando afirmó en 1927: «Comenzamos a sospechar que la materia de este mundo es materia mental». No existe nada más.

La idea de que el universo podría ser «materia mental» fue propuesta en serio por primera vez, basándose en hechos científicos, por sir Arthur Eddington en su libro *La naturaleza del mundo físico* antes de la Segunda Guerra Mundial. Pero dos desarrollos fundamentales posteriores, en los campos de la biología molecular y la informática, añaden gran peso adicional a esta hipótesis, puesto que los biólogos moleculares tienen que considerar actualmente el ácido nucleico como un complejo de información, cuyo desciframiento requiere técnicas criptográficas. También existe un paralelismo casi perfecto entre el funcionamiento de la química y el de un ordenador.

Además, existe la abrumadora posibilidad de que, puesto que el uni-

verso es principalmente un fenómeno de radiaciones cósmicas, y las radiaciones producidas por el hombre, como la televisión o la radio, sólo sirven para transmitir datos, las radiaciones cósmicas puedan, por tanto, ser, esencialmente, algún sistema de transmisión de datos.

Datos

Con referencia a la teoría de este libro, *La Tierra inteligente, filosofía cibernética*, hemos descrito en los dos capítulos anteriores el significado que atribuimos a las palabras «inteligente» y «cibernética». Hemos definido «inteligencia» como la condición y la medida cualitativa de un proceso cibernético controlado efectivo. Pero hay algo que falta todavía, la materia prima de la situación, que como veremos son los «datos».

DEFINICIÓN

«Datos» significa conocimiento pero debe entenderse en un sentido más general que simplemente conocimiento humano.

MENTE Y MATERIA

El estudio de la filosofía a lo largo de las edades revela que su tema dominante es el de la mente y la materia. Los cuarenta filósofos más importantes desde la época griega hasta nuestros días están básicamente divididos entre los que defienden la predominancia de la mente y los que defienden la predominancia de la materia, y supongo que, en general, tendríamos que incluir la mayor parte de la ciencia moderna en el lado de los materialistas. Esta dualidad de la mente y la materia ha sido re-

suelta, a veces, por algún filósofo afirmando que «todo es mente» o por otro asegurando que «todo es materia». Es bastante curioso encontrar en un pasaje oscuro de los escritos de Karl Marx la sugerencia de que la verdad se encuentra en la identidad de la mente y la materia combinadas en el comportamiento.

Pero el hecho es que la dualidad mente-materia todavía está con nosotros. El arte de la cibernética plantea una modificación de esta dualidad al proponer la relatividad de la mente y la materia, y puesto que los conceptos relativos son intrínsecamente triádicos, ¿cuál es la tercera parte? Mi propia interpretación del arte cibernético es que podemos considerar un análisis triádico formado por: mente relativa, datos relativos y materia relativa.

La innovación que introducimos en el cuadro es el concepto de datos o datos relativos, que sirven de intermediarios en la dualidad de mente y materia. Es decir, que los datos son capaces de interactuar tanto con la mente como con la materia y todos los sistemas industriales de automatización cibernética dependen de nuestra capacidad de crear tal construcción. De modo que los datos son un concepto importante en este aspecto bipolar, y mi análisis de esta capacidad es que los propios datos son triádicos y se componen de tres factores: significado potencial (interactuación con la «mente»), lenguaje codificado, modelo físico (interactuación con la «materia»).

Tomemos, por ejemplo, la expresión española «gato negro» como un ejemplo de lenguaje codificado, que desde luego está codificado para un chino. Pero si alguien que habla español ve las palabras «gato negro», estas tendrán significado para él, puesto que puede asociarlas con todos los gatos negros que ha visto. De modo que éste es el aspecto del «significado potencial» de los datos. Pero si le diéramos a un chino esa expresión escrita en un papel, sería incapaz de comprender lo que quiere decir. Lo único que podría decir es que se trata de una serie de marcas, varias de las cuales, la *a*, la *g* y la *o*, están repetidas. Este es el aspecto puramente físico de los datos.

Los datos son como una moneda con dos caras, una la del significado potencial y otra la de su modelo físico, y esto les permite actuar como el intermediario que enlaza la mente y la materia. Pero hay que

tener en cuenta que hemos postulado que todo esto es relativo, de modo que no hay absolutos, y lo que es materia en un contexto, podría ser mente en otro diferente, y esto es algo de lo que hablaremos en un capítulo posterior.

En un ordenador, este análisis de los tres aspectos de los datos toma la siguiente forma: como significado potencial tenemos el significado asignado por los programadores a un código binario determinado. En el medio tenemos el propio código binario y por debajo tenemos la estructura física de tensiones eléctricas, que es lo que realmente encontraremos dentro del ordenador.

DATOS ELECTRÓNICOS

Al final del capítulo 2 indiqué que el fundamento principal de la teoría de Tierra inteligente se basa en lo que podemos aprender del funcionamiento de un ordenador, primero analizando la naturaleza básica de la informática en los ordenadores construidos por el hombre, y después extendiéndola a un principio universal.

El hecho central de la informática son los datos electrónicos, de modo que profundizaremos un poco más en su definición. En el análisis de datos que acabamos de exponer hemos visto que tienen tres aspectos en su forma electrónica: significado real o potencial, código binario y estructura eléctrica.

Para ilustrar este argumento, tomemos la palabra «gato» y observemos cómo se puede considerar desde estos tres aspectos de los datos electrónicos. En primer lugar, esta palabra tiene un significado real para el programador del ordenador, puesto que la asocia mentalmente con su experiencia de los gatos que reconoce. No pretendemos analizar este significado directo, sino tomarlo como un hecho de la experiencia humana, de modo que si, preguntara a mi lector: «¿Sabe a qué me refiero cuando pronuncio la palabra “gato”?», usted probablemente respondería: «Hombre claro, se refiere usted a esos bichos peludos y un poco místicos que arañan cuando no tienen ganas de caricias». A lo cual, yo sólo podría responder: «No cabe duda de que usted comprende a lo que me refiero al

decir “gato”». Ahora, lo siguiente que tiene que hacer el programador es decir «gato» en código binario. El código binario es algo muy simple, se trata simplemente de tomar los símbolos 0 y 1, es decir los dos primeros números, y colocarlos formando una secuencia única que represente cada letra del alfabeto. Por ejemplo, el programador podría establecer las cuatro letras que contiene la palabra «gato» de la siguiente manera:

Letra	Código binario
G	00
A	01
T	10
O	11

De modo que «gato» se deletrearía: GATO = 00011011, en código binario.

Pero, ¿por qué usa código binario el programador? Bueno, eso se debe a que él va a colocar este código en un ordenador que en realidad sólo entiende de señales eléctricas, y por un extraño capricho de la naturaleza parece que existen dos tipos de electricidad, la positiva («+») y la negativa («-»). De modo que es sencillo hacer que la electricidad positiva («+») corresponda con el número binario 0, y la negativa («-») con el 1. De esa manera, el código binario se traduce a términos eléctricos como:

$$\text{Gato} = \quad 00011011 = \quad + + + - - + - -$$

(significado) (código binario) (estructura eléctrica)

La gente que tiene algún conocimiento de informática con frecuencia imagina que el código binario en términos de 00011011, etc., existe realmente dentro del ordenador, pero no es así, ya que la única que existe en realidad es una serie de voltajes positivos y negativos (+ + + - - + - -, etc.). De modo que el código binario no es más que un eslabón intermedio en el proceso mediante el cual el programador puede transformar un concepto con un significado real como «gato» en un modelo eléctrico que el ordenador puede comprender y manejar.

La verdadera razón para utilizar un intermediario como el código binario, o cualquier otro código, es que el programador no puede pensar directamente en términos de electricidad, sino sólo en términos del modelo abstracto de la electricidad, y el código binario es la manera más sencilla de representar ese modelo.

La división filosófica anterior de la realidad entre mente y materia, debe convertirse en una relatividad triádica de significado, datos y materia. Los propios datos son triádicos, de modo que pueden interactuar con la mente y la materia, y contener los tres elementos de significado potencial, lenguaje codificado y estructura física. En informática, los datos se representan mediante la tríada de significado real, código binario y estructura eléctrica.

Datos en la naturaleza: el fundamento básico de la física

En el capítulo anterior comenzamos a extender la idea de la importancia general de los datos y el procesamiento de datos desde el campo de los ordenadores artificiales al mundo natural. Sugerimos que los diferentes elementos químicos forman un alfabeto natural de datos y que la química es procesamiento de datos naturales, pero que cuando la naturaleza quiere crear formas más complejas prefiere utilizar otro alfabeto más corto de sólo cuatro letras (carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) y construir con ellas palabras y frases bastante largas.

Al continuar con este razonamiento sobre la evidencia de los datos y el procesamiento de datos en la naturaleza, hemos profundizado bastante en el mundo de las partículas microscópicas, pero no hemos llegado hasta el fondo. En este capítulo examinaremos el nivel más bajo del mundo físico para comprobar si los conceptos del procesamiento de datos natural son todavía válidos.

LA CUESTIÓN CRÍTICA: «EL FUNDAMENTO BÁSICO»

Estoy de acuerdo con esos físicos que afirman que aunque mis argumentos parecen apoyar claramente que nuestro universo es un universo inteligente, y así esta teoría tiene más peso que cualquier otra, dada la casi total ausencia de otras teorías (actualmente no existe ninguna cosmología científica coherente), la idea del universo inteligente, pese a ser

la más sostenible, todavía es demasiado débil para ser aceptada en sentido absoluto. Sin embargo, existe una posibilidad de romper con esta situación:

Si se pudiera identificar el «fundamento básico» absoluto de la física y demostrar que la naturaleza de este fundamento básico apoya la teoría del universo inteligente.

EL FUNDAMENTO BÁSICO DE LA FÍSICA: LA CONSTANTE DE PLANCK

El «ladrillo» más elemental del universo quedó establecido hace ya muchos años en la constante de Planck (h). La categoría más sutil de la física es la radiación, de la cual la más típica es la luz, y la constante de Planck es simplemente una onda¹ de dicha luz. La onda es eléctrica, y consiste en una vibración entre los principios electrostático y electromagnético, y puesto que el primero es «estático» y el segundo es «dinámico», es casi como una vibración entre espacio y tiempo.

Es la propiedad más elemental del universo..., una onda eléctrica.

Pero si uno considera tanto los ordenadores como los sistemas de comunicaciones humanos, se encuentra con que la unidad elemental de información es también una onda eléctrica formada por medio ciclo positivo y medio ciclo negativo, y si se toman los dos medios ciclos por separado, se establece la base del sistema de información binaria, por lo cual se puede considerar la constante de Planck como el *dígito binario cósmico*.

Así establecemos que el mismísimo ladrillo con el que está construido el universo tiene exactamente la misma forma que una unidad de información como las que se utilizan en los ordenadores y los sistemas de comunicación desarrollados por el hombre. También se demuestra que el «universo está hecho de electricidad».

¹ $h = e \times t$, donde e es la energía cuántica, t el período de la onda, y h la constante de Planck. La ecuación solamente puede aplicar a una sola onda a causa de t . En De Broglie, Louis, *Mater and Light*, Londres, Allen and Unwin Ltd., 1939.

Datos en la naturaleza: biología molecular

En el capítulo anterior vimos el «fundamento básico» de la física, la constante de Planck, es simplemente una onda eléctrica que podría servir perfectamente como una marca elemental eléctrica, con la cual construir un alfabeto natural que generalizase el concepto de procesamiento universal de datos en la naturaleza, especialmente en radiación.

En capítulos siguientes consideramos los elementos químicos como un alfabeto natural de un centenar de letras, pero notamos que la naturaleza prefirió un alfabeto más corto de sólo cuatro letras (carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) para formar palabras de contenido especialmente elegante..., palabras como «elefante», «jirafa» y «hombre». En este capítulo analizaremos más detenidamente el uso de este alfabeto de cuatro letras desde el punto de vista de la biología molecular.

BIOLOGÍA MOLECULAR

En los últimos cien años ha tenido lugar una búsqueda especialmente intensiva del «secreto de la vida» tal como se ejemplifica en las criaturas vivas tales como plantas, animales y el hombre. Aunque desde tiempo inmemorial ha sido obvio que «una bellota es un programa para construir un árbol», éste era un conocimiento bastante conductista, y todo lo que significaba era que una planta, una bellota, tenga algunas po-

sibilidades de que crezca una encina, y desde luego, ninguna posibilidad de que crezca otra cosa.

Pero la ciencia no busca sólo hechos conductistas, sino lo que es más importante, el cómo y porqué de tales hechos, y desde hace unos cuarenta años ha quedado claro que el significado de una bellota debe buscarse en sus células individuales, concretamente, en el núcleo de esas células, y en los genes y cromosomas de ese núcleo.

De modo que hasta este decenio los biólogos habrían afirmado que la estructura de los genes en los cromosomas contiene la descripción básica de por qué los elefantes son elefantes y las jirafas, jirafas. Pero muy recientemente se ha desarrollado una nueva ciencia, la biología molecular, que ha analizado cómo están contruidos los genes con las cuatro letras elementales del alfabeto natural («palabras») que hemos descrito anteriormente, y ha quedado claro que el secreto de la vida se debe buscar en esta región de disposiciones moleculares, que no parecen tener ningún rasgo de vida en sí mismas. ¡De modo que la vida es un producto de la materia inanimada!

ADN Y ARN

En pocas palabras, la idea del asunto, desde el punto de vista químico, es que los centros organizadores de la construcción de la materia viva son las proteínas, que son complejos de aminoácidos, y dos grupos de estas proteínas, el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN) parecen combinar todo lo necesario para crear la vida desde los elementos químicos orgánicos individuales: esas cuatro letras cósmicas tan populares, carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

No disponemos de espacio en este libro para un análisis detallado de los fundamentos de la biología molecular, pero podemos resumirlos de la siguiente manera:

1. La «vida» parece estar organizada por centros de información caracterizados por la estructura de moléculas, por lo demás, inanimadas, de ADN y ARN.

2. Al estudiar los mecanismos envueltos, los biólogos moleculares han tenido que copiar el vocabulario de la cibernética, con términos tales como: códigos, codificar, descodificar, flujo de información, transferencia de información, diccionarios de lenguajes duales, programas, memorias.

Cito a continuación un párrafo típico de un biólogo molecular:

«Creemos que los ácidos nucleicos informacionales (ADN, ARN viral, ARN mensajero) están compuestos de sólo cuatro subunidades con diferente información. La información de los genes está codificada como la secuencia de las cuatro clases de subunidades de nucleótidos, de manera muy similar a como un mensaje en inglés puede codificarse en una secuencia de subunidades de punto, raya y espacio..., el código morse»¹.

Esta cita podría haber sido tomada igualmente de un programador de ordenadores hablando de su trabajo. ¿Cabe la menor duda de que los hechos fundamentales de la biología molecular están escritos en el lenguaje de los datos y el procesamiento de datos en general, y basados en el alfabeto natural, reducido de cuatro letras en particular?

Sumario

Cualquier breve excursión al terreno de la biología molecular, que trata de descifrar los secretos de la vida, pone de manifiesto que ésta es una materia dominada por el lenguaje y las técnicas de los datos y el procesamiento de datos. Los dos tipos de científicos que de verdad se comprenden mutuamente son los biólogos moleculares y los programadores de ordenadores cibernéticos.

¹ Menniger, J. R., «Transfer RNA», *Science Journal*, octubre, 1965, p. 40.

LA TIERRA ES UN ORDENADOR

Comparación de la Tierra con el cerebro del hombre, en cuanto a la información. La Tierra procede del Sol y este de la galaxia Vía Láctea. Los demás planetas también proceden del Sol y las lunas de sus respectivos planetas. El hombre procede del sistema binario padre y madre. El hombre al nacer, tiene su cerebro sin información, *tanquam tabula rasa*. La Tierra cuando se desprendió del Sol hace millones de años, también estaba sin información, no había plantas ni animales, pero tenía unos cien elementos químicos (hidrógeno, oxígeno, carbono, etc.), con los cuales formaría sílabas (oxígeno e hidrógeno = agua), palabras y su lenguaje (minerales, plantas y animales y el hombre). Con este alfabeto de unos cien elementos químicos y con la ayuda de la programación solar vemos ahora la evolución que ha experimentado la Tierra desde su aparición, su nacimiento. Su propósito es aumentar su información y perfeccionarse. La naturaleza eligió un alfabeto de 4 elementos químicos (hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno) para formar la vida y crear la inteligencia humana.

El hombre recibe la información exterior mediante sus cinco sentidos que luego procesa el cerebro y la guarda en su memoria. La Tierra recibe la información exterior, mediante el Sol, que la Tierra procesa, (por ejemplo, la fotosíntesis). Por la cantidad de información que hay en la Tierra y por su evolución, se deduce que tiene millones de años desde su formación. También se intuye que la Tierra, el Sol y todo el Universo, son más inteligentes que el hombre. La fabricación de los elementos químicos para formar los cuerpos compuestos, para crear la vida, las plantas, los animales y el hombre, es una demostración de la inteligencia universal.

Cuando el cerebro está lleno de información, entonces se deduce que está llegando su fin, ya que no tiene más capacidad de memoria. Su ciclo ha terminado. La solución es la continuidad, es hacer otro cerebro. Así también, cuando la Tierra esté completamente informada, evolucionada, desarrollada, entonces habrá llegado su fin. La solución es la continuidad, es otro planeta. La sucesión a la Tierra es Venus que se está formando ahora para ser habitado y desarrollarse la vida como en la Tierra.

Parece que Venus será el último planeta donde haya vida, porque Mercurio es pequeño como la luna. Cuando se formó el sistema Solar no había entropía, el Sol era más grande y sus rayos llegaban hasta Plutón, donde también se desarrolló la vida, después siguió la vida en Urano, Saturno, Júpiter, Marte y la Tierra. Por último, terminará en Venus. Entonces, la entropía habrá aumentado mucho y el fin térmico llegará, ya que el Sol seguirá consumiendo su energía. El sistema Solar vuelve otra vez a su Galaxia, de donde salió para volver otra vez, a formarse otra sistema Solar, y así sucesivamente y eternamente, ya que la materia y la energía, no se crea ni se destruye, solamente se transforma.

El propósito del hombre es cuidar y perfeccionar la Tierra. Para este fin ha sido creado el hombre, por el Sol y la Tierra.

Datos en la naturaleza: la materia y la química

El desarrollo de la teoría del universo inteligente ha indicado la existencia de una tríada de elementos fundamentales complementarios, integrada por datos, inteligencia y proceso cibernético.

De estas tres categorías, la de datos es la más fundamental, y en el campo de los ordenadores hemos visto que el aspecto central de los datos es un modelo eléctrico. En el capítulo anterior vimos también que los datos humanos existen en seis niveles, siendo el nivel superior dominante sobre los inferiores. A continuación examinaremos el caso más general de la existencia de datos en la naturaleza. El átomo de hidrógeno como la memoria elemental básica.

En los ordenadores, la facultad de la memoria se consigue mediante dígitos binarios, haciendo que los electrones giren en el sentido de las agujas del reloj para obtener el bit binario 1 y en la dirección contraria para obtener el bit 0. Este giro de los electrones se denomina magnetismo; si los electrones giran en un sentido crean polos norte, y si lo hacen en el otro crean polos sur, de modo que estos conceptos de polos establecen igualmente la diferencia de datos entre el bit binario 1 y el bit binario 0. Si uno dirigiera su atención al mundo natural de la materia y se planteara cómo fabricar un ordenador natural, tendría que encontrar un sistema en el cual un electrón estuviera cautivo en una memoria, y este sistema es el átomo de hidrógeno. Este átomo establece una correspondencia exacta con el componente más elemental de un ordenador electrónico, puesto que existe la presencia positiva del electrón que gira para

obtener el código del bit binario 1, y, sin embargo, continuar cautivo en sentido estructural en su órbita alrededor del núcleo del protón. Esta es la memoria natural básica.

EL ALFABETO DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

El átomo de hidrógeno, considerado un código básico, sólo establece el equivalente al bit binario 1, aunque su ausencia podría interpretarse como el equivalente del bit binario 0. Pero esto último resultaría un concepto artificial, ya que está claro que la naturaleza ha establecido un alfabeto de alrededor de cien letras que se corresponden con los aproximadamente cien elementos químicos de la tabla de Mendeléiev. De modo que el punto de vista de la naturaleza coincide hasta cierto punto con el del señor Bernard Shaw, quien propuso un alfabeto de unas cuarenta y seis letras, y pienso que ambos se excedieron un poco. En cualquier caso, la naturaleza ha establecido sin duda un alfabeto de memorias de datos de alrededor de cien letras, cada una de ellas única y específica, con el cual se podría construir un lenguaje sumamente sofisticado. Tal alfabeto permite muchísimas más posibilidades de combinaciones y permutaciones de códigos que los sencillos 1 y 0 binarios de los cibernéticos, y parece que la naturaleza estuviera preparada contra toda eventualidad, no importa lo remota que sea. Afortunadamente, sin embargo, la naturaleza no ha utilizado toda la potencia de este alfabeto en sus «deletreos», como veremos, y la mayoría de estas letras naturales son meras curiosidades que apenas se utilizan.

LA ESTRUCTURA ELÉCTRICA COMO SIGNIFICACIÓN ALFABÉTICA

La diferencia entre estas letras naturales del alfabeto químico, deletreadas en más de cien variedades de elementos químicos, consta enteramente de diferencias de estructura eléctrica, particularmente del número de electrones en órbita alrededor del núcleo y de la manera como efectúan esa órbita. Este es el terreno de la física y química en general, y de

la teoría cuántica en particular, pero puesto que este libro está dirigido al público no especializado, confío en que aceptarán mi palabra de que la diferencia esencial de significado, entre este centenar de letras distintas del alfabeto natural, que denominamos elementos químicos, es puramente una cuestión de diferentes estructuras electrónicas.

LA QUÍMICA COMO PROCESAMIENTO DE DATOS NATURAL

En capítulos anteriores, acerca del procesamiento electrónico de datos, puse un ejemplo típico de las leyes envueltas como: mineral de hierro + coque + calor = acero. En el mundo de la informática natural, un ejemplo análogo podría ser:



Así, establecemos la correspondencia de que los procesos de la química natural son simplemente procesos de datos, y la mayoría de los químicos suscribirían esta idea.

La totalidad de la química que establece las leyes y los hechos por los cuales «si a esto le añades eso obtienes aquello otro» es exactamente lo mismo que los procesos que tienen lugar dentro de los ordenadores y, de hecho, este es el motivo por el que podemos controlar procesos químicos industriales mediante ordenadores. Si se puede representar con una ecuación, está dentro del campo de los datos, pero datos objetivos, puesto que un elemento o un compuesto químico no es más que datos.

EL ALFABETO FAVORITO DE CUATRO LETRAS

Aunque no cabe duda de que la naturaleza ha establecido un alfabeto de un centenar de letras, representadas por los elementos químicos de la tabla periódica de Mendeléiev, hay ciertas indicaciones de que se ha arrepentido después de haberse excedido, ya que incluso Bernard

Shaw propuso sólo cuarenta y seis letras para escribir la lengua inglesa, y ya es difícil, complicarlo más. Así, cuando la naturaleza comenzó a realizar cosas realmente interesantes en el campo del procesamiento natural de datos, decidió que ya se había excedido bastante con lo otro, y cuando empezó a crear elefantes, jirafas, e incluso hombres, prefirió utilizar un alfabeto de sólo cuatro letras, a saber: carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno.

Incluso este reducidísimo alfabeto de cuatro letras es absolutamente superior al sistema binario que usamos en los ordenadores, puesto que dicho sistema binario sólo puede producir modelos eléctricos de rango 2^n , donde n es el número de letras utilizado, mientras que este nuevo alfabeto de cuatro letras puede producir modelos del rango 4^n . Así, mientras que el hombre ha optado por el dos como número mágico en su sistema de codificación electrónica, la naturaleza ha preferido el cuatro. ¿Quién puede decir cuál es el mejor? Vamos a explicar todo esto de otra manera. Por un lado, se puede escoger un alfabeto con un elevado número de letras, en cuyo caso las palabras que se formen serán muy cortas. Por otro lado, se puede escoger un alfabeto que tenga muy pocos caracteres, y en ese caso las palabras que se formen consistirán en combinaciones más complejas de esas letras básicas. Parece que la naturaleza ha optado por la segunda opción en el campo orgánico.

LAS PALABRAS DE LA QUÍMICA ORGÁNICA

En el campo de sus creaciones más inteligentes, tales como las plantas, los animales y el hombre, la naturaleza ha optado por utilizar un alfabeto de sólo cuatro letras (hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno) y, por tanto, ha experimentado la inevitable consecuencia: las palabras que deletrea con tan pocos caracteres deben ser bastante complejas. Esto está de acuerdo con la experiencia humana de haber escogido un sistema binario de sólo dos letras (1 y 0) en los ordenadores, de modo que nuestras palabras han llegado a ser muy largas y muy complejas. Por tanto, ¿quiénes somos nosotros para discutir esa decisión?

LA COMPUTACIÓN BINARIA HUMANA Y LA COMPUTACIÓN CUATERNARIA NATURAL

Las palabras y oraciones expresadas en la computación establecen la unicidad de una identidad o una situación, y podemos imaginar que en la naturaleza tales diferencias de identidad o situación pueden ser perfectamente la diferencia entre un elefante y una jirafa. Vamos a comparar la diferencia entre la disposición humana (2^n) y la natural (4^n) del número de letras requeridas en una palabra para formar una combinación única:

Número de letras	Palabras (ordenadores binarios humanos)	Palabras (química cuaternaria natural)
5	32	1.024
10	1.024	1.004.576

Así, vemos que el alfabeto natural de cuatro letras, o química orgánica, es mejor en cuanto a permutaciones y combinaciones, al cuadrado del sistema binario que nosotros, los simples humanos, utilizamos en nuestros ordenadores.

Si dirigimos nuestra atención al mundo natural, y nos preguntamos si hay en él indicaciones de elementos de estructura y códigos eléctricos equivalentes a los de los ordenadores artificiales, encontramos las siguientes correspondencias:

1. El átomo de hidrógeno, con su único bit binario, representa la memoria básica natural como la letra más elemental de un alfabeto.
2. La tabla completa de los elementos químicos, alrededor de un centenar, es en realidad un largo alfabeto, y sus interacciones en los procesos químicos son un tipo de procesamiento de datos natural.
3. La naturaleza parece preferir para sus desarrollos complejos un breve alfabeto de cuatro letras, que son las siguientes: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno.

Con este brevísimo alfabeto y, utilizando palabras bastante largas, la naturaleza compone las frases de la química orgánica en general que dan origen a los seres vivos.

Principios universales de la cibernética

En la primera parte de este libro examiné algunos hechos científicos, y deduje que todos ellos señalaban en una sola dirección: que podríamos hallarnos en un Universo Inteligente, análogo a los ordenadores que fabricamos. En este capítulo formularé de nuevo estos hechos científicos como una serie de postulados o principios generales que actúan como el fundamento de una cosmología en desarrollo.

EL PRIMER PRINCIPIO UNIVERSAL: ESTRUCTURA Y DISEÑO

Lo único de lo que podemos estar absolutamente seguros es de que el universo refleja una estructura con diseño. Incluso, aunque, quizá, lo comprendamos mal, no cabe duda de que si lo interpretamos correctamente, la estructura tendrá algún tipo de diseño. La razón para esta estructura fundamental es que se trata de la propiedad más inherente de la creación. ¿Qué podría ser la creación si no se materializase como estructura? Incluso si uno es platónico y cree que la característica esencial del universo es un «mundo de ideas», tal concepto también es estructural. Implica una diferencia como la que existe entre «esto» y «eso» como ideas, y la relación que hay entre «esto» y «eso» como ideas. El aspecto estructural del universo es fundamental, ya sea que nos refiramos a ideas, leyes naturales, ácido sulfúrico o excavadoras.

Con el término «estructura» no me estoy refiriendo necesariamen-

te a algún tipo de diseño geométrico en el espacio, puesto que tal estructura puede perfectamente encontrarse en el tiempo, en cuyo caso tal vez prefiramos denominarla estructura de un proceso. Tampoco tenemos por qué limitar nuestro concepto de estructuras al espacio al tiempo, puesto que las estructuras matemáticas no necesitan ninguna dimensión. El hecho de que «dos y dos sean cuatro» es un diseño estructural.

La prueba de la realidad de la estructura es que podríamos describirla de alguna manera y comunicar de algún modo esa comprensión. Todos los tipos de lenguaje son estructurales (como datos), y no importa si tratamos de describir la estructura con palabras (habladas o escritas), con música, o en una pintura. Todos los intentos de comunicación son intentos de describir una estructura mediante la estructura correspondiente de algún tipo de modelo de datos humano.

EL SEGUNDO PRINCIPIO UNIVERSAL: DATOS

Si tengo en mi mente el concepto estructural «dos y dos son cuatro», todo el mundo concordará con que esto son datos. Pero cojo un bolígrafo y escribo en una hoja de papel «dos y dos son cuatro», esto sin duda no es simplemente datos, sino un tipo superior de datos, puesto que ahora están en un formato más comunicable. Pero todavía son datos.

Tomemos un ejemplo más avanzado, e imaginemos que soy un diseñador de automóviles. Tengo una idea de un nuevo automóvil, y ciertamente, esta idea son datos en mi cerebro. Ahora pongo por escrito el esquema y las especificaciones detalladas de ese nuevo automóvil. Estos son los mismos datos que mis ideas, pero he cambiado el material que los contiene del pensamiento al papel. Finalmente, se construye el automóvil según mis esquemas, y este vehículo incorpora exactamente los mismos datos que había en el papel o en mi mente. No cabe duda de que ese automóvil material, fabricado principalmente de metal, no es más que datos incorporados en un material diferente. Así llegamos a la idea de que los mismos datos pueden existir en diferentes formatos, depen-

diendo del material o el código en el que estén representados, pero siendo, los mismos datos a pesar de todo. ¿Cuál es la diferencia entre traducir datos al chino o traducirlos en metal? El modelo estructural correspondiente es el mismo en ambos casos.

Así llego a la conclusión de que todas las cosas son datos, suponiendo que tenga una estructura que se pueda describir, y que el material del que estén formadas sea indiferente a la situación. Con esto queda cerrada la brecha entre la mente y la materia, puesto que ya no nos preocupamos de diferenciar filosóficamente entre los modelos de mi propia mente como datos y los modelos en cualquier otro material del mundo físico. Esto significa en particular que los modelos que la ciencia descubre en la naturaleza, incluyendo las leyes naturales, son inherentes a la propia naturaleza, y, mientras nuestra mente humana pueda tener ideas correspondientes, o hasta distorsionadas de esos modelos, existen por derecho propio como datos naturales. La verdadera ruptura con los planteamientos de los datos naturales inherentes como distintos de las impresiones humanas de esos datos como ideas, proviene de la ciencia en el aspecto numérico de la naturaleza, en particular cuando ese aspecto numérico es detectado por instrumentos inanimados. Si sólo utilizamos la lectura de un instrumento como indicación de lo que la ciencia sabe sobre la naturaleza, se podría objetar que estas medidas son sólo una analogía de lo que realmente está ocurriendo, y éste era el punto de vista de Eddington. Pero como los recientes métodos de digitalización o numeración de los datos naturales, esta interpretación subjetiva no se mantiene en pie. Si utilizamos un analizador electrónico de frecuencia para contar las vibraciones en una onda r de radio y nos da un total de 1.423.675 por segundo, esto no es ninguna analogía de la situación real: verdaderamente vibra 1.423.675 veces por segundo, y este es un dato natural objetivo.

El auténtico problema que Eddington encontraba era su preocupación porque las medidas que se realizaban pudieran ser diferentes de la naturaleza de «las cosas en sí mismas», y en esto tenía razón. Pero si se hubiera dado cuenta de que el concepto de «cosas en sí mismas» carece de sentido, sino que más bien los datos son el hecho central de la naturaleza, sus problemas habrían desaparecido. De hecho, llegó a estar muy

cerca de la idea al decir: «Sospechamos que la materia del mundo es materia mental». Esta es la verdad del asunto.

Así, mientras que algunas ideas filosóficas son enteramente subjetivas (como la de la dualidad mente-materia) y reflejan estrictamente el modo de pensar de los seres humanos, parece que hay bases sólidas para considerar que los datos naturales realmente existen en los modelos manifestados en la naturaleza que nos rodea.

EL TERCER PRINCIPIO UNIVERSAL: NÚMERO O DIGITALIZACIÓN

El «número» es el aspecto más elemental de la estructura de los datos. Si tomamos una estructura, por ejemplo un triángulo, lo que más salta a la vista de él es que está dominado por el «número tres»: tiene tres ángulos y tres lados, y precisamente por eso se le llama triángulo. Propongo que el número tres es un ejemplo de elemento de datos objetivo que no sería muy diferente de los puntos de vista del ser humano o del hombre en la Luna. De modo que las propiedades de un número pueden ser completamente objetivas. Así, ¿puede haber alguna duda de que en nuestro sistema Solar hay un solo Sol, o de que Júpiter tiene nueve lunas (según el último cómputo), o de que los humanos tienen cinco dedos en cada mano y cada pie?

En la sección anterior dejé entrever este argumento al sugerir que los datos naturales existen verdaderamente como tales sin necesidad de que intervenga ningún concepto humano, pero en esta sección estoy tratando de los números de por sí, como una categoría de datos cósmicos y la base de la estructura cósmica.

La categoría de los números es la única que no está sujeta a controversias de ninguna clase, ya que nadie sugiere acerca del número ocho que «si sólo conociéramos la cosa-en-sí el número real podría ser once». Por lo tanto, los números acaban con todas las tonterías sobre el subjetivismo puesto que existen a ambos lados de la dualidad subjetiva de mente y materia. Además, toda la naturaleza parece estar digitalizada, ya que sus estructuras están construidas con números y relaciones entre números. Esta es la esencia de la teoría de la luz y todas las radiaciones. La

mayor certeza en cuanto a una radiación es el cómputo de sus vibraciones en un tiempo determinado. La mayor certeza en cuanto a la estructura del átomo es el cómputo de las relaciones entre las vibraciones en las órbitas de los electrones (teoría cuántica). La mayor certeza en cuanto a la diferencia entre sustancias químicas es la tabla periódica de los elementos con el incremento unitario de masas nucleares debido a la digitalización del protón y el neutrón.

La totalidad de la estructura de la naturaleza se basa en la digitalización de la materia («partículas») y de la radiación («ondas»), y en el capítulo 10 demostramos que el fundamento básico del mundo físico, la constante de Planck es simplemente una de tales ondas elementales (nótese que es una, la unidad básica de digitalización). La razón de esta digitalización absoluta como base de las estructuras del mundo natural no es difícil de hallar, puesto que la única categoría que carece de estructura es el «numero uno» o la «marca simple». Todo cuanto podemos decir acerca del número uno o la marca simple es si está presente o no; no podemos decir nada acerca de su estructura. Pero el número uno establece el dato para la estructura, puesto que tan pronto como la marca se repite para formar dos dígitos o, el «número dos», comienza a existir estructura. En primer lugar, comienza a existir porque es diferente de «dos», y el aspecto elemental de la estructura es la diferencia o la relación. Si el número vuelve a repetirse para formar el «tres», ya estamos comenzando a obtener estructuras bastantes complejas, porque este número ya puede ordenarse de seis maneras y, por tanto, el número tres establece el aspecto de la estructura que podríamos denominar «ordenación». Así, con números más elevados, el grado de complejidad aumenta, y los dos tipos principales de estructuras que pueden crearse son, en términos de «cómputo» o en términos de «ordenación». Ambos pueden estar combinados, y los ordenadores a veces hacen uso de ambas técnicas para clasificar y procesar los datos.

Así, llegamos a la conclusión de que todos los datos, ya sean naturales o humanos, están digitalizados, en el sentido de que si observáramos con un microscopio llegaríamos a ver los dígitos o marcas elementales, igual que si observamos con lupa una pintura al óleo podemos distinguir las pinceladas individuales que la componen.

EL CUARTO PRINCIPIO UNIVERSAL: PROCESO NATURAL COMO PROCESAMIENTO DE DATOS

Los primeros tres principios universales de estructura, datos y digitalización se han descrito en ese orden porque es el más sencillo de entender. Los tres principios se complementan de la siguiente manera:

El atributo más obvio del universo es el que manifiesta cierta estructura formada por datos con una base digital o, puesto en un orden diferente, el universo está formado por dígitos o números que se organizan en modelos o datos que nosotros percibimos como estructuras.

De modo que si tomáramos una instantánea del universo podríamos interpretarla como un complejo de datos basados en dígitos. Pero el otro aspecto del universo es la impresión que recibiríamos si en lugar de una fotografía grabásemos una secuencia de vídeo, ya que en ella aparecerían procesos, cosas que ocurren durante un tiempo y cosas que cambian. Algunos cambios típicos de los procesos naturales son: la noche y el día, el crecimiento y envejecimiento de la vida orgánica, el clima, etcétera.

Sin embargo, si examináramos los fotogramas individuales de esa grabación y observáramos las diferencias, nos daríamos cuenta de que, también, los datos cambian. En otras palabras, los datos están siendo procesados progresivamente. Puesto que los elementos del proceso son datos, el propio proceso puede ser otra cosa que procesamiento de datos. Con anterioridad ya analizamos esto y llegamos a la conclusión de que toda la química es procesamiento natural de datos. Por tanto, establecemos que el cuarto principio universal es el procesamiento de datos.

EL QUINTO PRINCIPIO UNIVERSAL: PROCESOS CIBERNÉTICOS Y ANTICIBERNÉTICOS

Con todo esto llegamos a la conclusión de que el aspecto fenoménico del universo son los datos y el procesamiento de datos con un análisis

sis elemental digital o numérico. Nuestro siguiente problema es tratar de apartarnos de los puntos de vista fenoménicos y ahondar un poco más en el problema, no en «la cosa en sí misma», sino en las inferencias nouménicas de variaciones cualitativas fenoménicas. Al comienzo de este libro afirmé que el razonamiento a seguir se basaría en un análisis estructural de las categorías universales que se consideraban, pero la estructura podía ser tanto cuantitativa como cualitativa, y es de los aspectos cualitativos de los datos y el procesamiento de datos de donde, podemos deducir algunas sutilezas nouménicas.

Si observamos el universo, podemos ver dos tipos de procesos: algunas cosas parecen que van a mejor, mientras que otras van a peor. El universo manifiesta un flujo vertical en ambas direcciones. Cuando vemos que el dióxido de carbono y el agua se convierten en una encina, podemos presumir que se trata de un proceso constructivo. Cuando vemos una casa ardiendo, por otra parte, no cabe duda de que está teniendo lugar un proceso destructivo. Ambos tipos de procesos tienen que existir, ya que si no, todo sería o bien un cielo luminoso, o un infierno tenebroso. Parece que de algún modo nos las arreglamos para estar cerca del punto medio.

La causa de los procesos destructivos, anteriormente denominados procesos anticibernéticos, es bien conocida y se debe a las colisiones ciegas dentro de sistemas energéticos con diferencias potenciales (si el cigarrillo encendido cae sobre la alfombra e incendia la casa). Estamos, pues, en el ámbito de actuación de la segunda ley de la termodinámica, que implica que la ceguera crea procesos que disminuyen el grado de orden del universo. Pero el hecho de que la observación muestra que el universo tiene «las pilas», al menos parcialmente cargadas, junto con el hecho de que podemos observar procesos creativos, como el del agua que se transforma en encinas, demuestra que debe haber también principios cibernéticos que pueden producir orden relativo a partir del caos relativo. De modo que nuestro quinto principio universal es el conflicto o equilibrio entre los procesos cibernéticos creativos y los procesos anticibernéticos destructivos. Pero puesto que hemos demostrado que todos los procesos son procesamiento de datos, el equilibrio se da entre dos tipos de procesamiento de datos.

EL SEXTO PRINCIPIO UNIVERSAL: INTELIGENCIA Y VOLUNTAD COMO DIFERENCIALES DE DATOS

Si ya consideramos que los datos pueden existir en diferentes niveles, el superior de los cuales puede programar a los inferiores. Así, el profesor puede programar a sus alumnos. Tomando un ejemplo de la naturaleza, podemos ver que una bellota (como un programa para construir una encina) existe en un nivel de datos más elevado que el agua y el dióxido de carbono que forman ese árbol.

Esta diferencia potencial de niveles de datos como la que existe entre una bellota y el agua y el dióxido de carbono la describimos como inteligencia; y cuando la bellota efectivamente actúa con el agua y el dióxido de carbono en un proceso cibernético, lo describiremos como voluntad. De modo que la inteligencia es la diferencia de potencialidad de los datos para el ejercicio de la voluntad. Es importante notar que no hemos llegado a deducir la existencia de estas dos categorías de inteligencia y voluntad mediante algún tipo de conjetura intuitiva, sino simplemente a partir del hecho de que los procesos de la naturaleza indican diferencias cualitativas de datos y procesamiento de datos, y por eso utilizo el término «inteligencia», para describir grados cualitativos de diferencia entre datos y el término «voluntad» para describir grados cualitativos de diferencia entre procesamientos de datos.

Programación solar

Después de haber establecido los seis principios universales que se pueden aplicar al universo, buscaremos a continuación las indicaciones de la existencia de tales principios en la relación entre el Sol y la Tierra.

El propósito de este capítulo es sólo sugerir tales indicaciones, más bien que desarrollar en gran detalle los mecanismos cibernéticos que pueden estar envueltos.

EL SISTEMA SOLAR

El Sol y sus planetas constituyen una entidad bien definida conocida como el sistema Solar, y su identidad como sistema depende del hecho de que todos los planetas giran alrededor del Sol.

Las comunicaciones entre el Sol y los planetas tiene lugar por dos vías: mediante un campo gravitatorio, y mediante radiaciones tales como la luz Solar. Hasta donde conocemos, estas radiaciones no cambian en su tránsito del Sol a la Tierra, sino que sabemos por su estructura que son emitidas originalmente por la materia Solar. La materia del Sol consta principalmente de hidrógeno, el más básico de todos los átomos, aunque hay en marcha un ciclo químico que parece envolver también carbono, nitrógeno y oxígeno, los mismos cuatro elementos que sirven como ladrillos de la vida orgánica en la Tierra, cuya existencia depende (además de la luz solar para que tenga lugar la fotosíntesis) de los vegetales. Así,

parece existir un sistema de comunicación de datos entre los elementos orgánicos del Sol y esos mismos elementos en la superficie terrestre. Si estudiamos ahora lo que ocurre durante el crecimiento de las plantas sobre la superficie de la Tierra, dos cosas se destacan:

- Los datos simples se desarrollan en otros más complejos cuando los elementos orgánicos presentes originariamente en el agua y el dióxido de carbono se transforman en materia vegetal. Esto indica que el procesamiento de datos tiene lugar en una dirección cibernética positiva desde la inteligencia inferior a la superior, y podemos considerar el producto final de la planta desarrollada como el resultado de la memoria de ese proceso.
- Esta situación se produce solamente en un sentido, ya que la luz solar es vital para el proceso de crecimiento de la vegetación orgánica, pero estas radiaciones sólo van del Sol a la Tierra y nunca al revés.

La característica fundamental de cualquier procesamiento de datos es que requiere la combinación de un programa, con un nivel de inteligencia superior, que reaccione, con una memoria de inferior nivel, para producir, mediante procesamiento, un resultado de nivel intermedio. Esto es cibernética básica.

Pero al dirigir la atención a la fotosíntesis de la vegetación verde, reconocemos el agua y el dióxido de carbono como las memorias originales de datos o la materia prima y vemos el resultado superior en el producto orgánico terminado, con lo que queda sin asignar el papel de la luz solar, que por otra parte sabemos que es vital. Está claro que la luz del Sol es el aspecto programador del procesamiento de datos. Esto nos sugiere que el sistema Solar es algún tipo de «ordenador» o sistema de procesamiento de datos para el desarrollo de la vida orgánica, puesto que todo desarrollo orgánico depende básicamente de la fotosíntesis de los vegetales. Pero esto por sí sólo no explica por qué existe tal variedad de especies.

La estructura orgánica y la variedad de especies.

Ahora, sabemos que los datos básicos para la estructura orgánica los proporciona el ácido desoxirribonucleico (ADN), y que la diferencia en-

tre un elefante y una jirafa está descrita esencialmente por la diferencia de los datos representados en la disposición de las palabras químicas de cuatro letras en él. Una vez que tales estructuras están disponibles, pueden reproducirse, de modo que el problema del origen de las especies es una cuestión de visualizar una especie de arca de Noé original de varios ADN. Debido a las teorías evolutivas, quizá, sólo sea necesario partir de un fragmento de ADN original para que sigan las demás. Denominaré a esta entidad teórica ADNO, siglas de «ácido desoxirribonucleico original».

De modo que el enigma es el origen del ADNO.

Pero puesto que el desarrollo de la vida orgánica es claramente un resultado de la luz solar, y que el mantenimiento de las condiciones para la vida también depende del Sol (el ciclo de la evaporación del agua y la lluvia), es sumamente probable que el origen del ADNO esté (o haya estado) también en el Sol. Mi propio punto de vista sobre el asunto es que el ADNO se originó como resultado de radiaciones inteligentes (programas estructurales) del Sol, y que ese tipo de radiación estaba probablemente dentro del espectro de los rayos X, puesto que según la cristalografía, ese espectro es específico para la interacción de las estructuras materiales y la radiación. Pero con el desarrollo de la materia orgánica, arraigándose en la superficie terrestre a partir de esos orígenes, el oxígeno liberado creó varias barreras atmosféricas que actualmente conocemos, bloqueando posteriores radiaciones de datos creativos.

Esta clase de teoría fue propuesta por V. I. Vernadsky en su libro *La Biosfera*. De modo que el programa Solar, para crear la vida sobre la Tierra, contenía su propio método para detenerse en el momento adecuado. La hipótesis podría demostrarse si Soluciones estériles que contenían nutrientes desarrollaron mohos, bajo la exposición de radiaciones cósmicas, fuera de la atmósfera terrestre, por ejemplo en una cápsula espacial.

LA QUÍMICA DE LA CORTEZA TERRESTRE

La química cambiante de la corteza terrestre parece deberse enteramente a la influencia del Sol, directamente como luz Solar e indirecta-

mente como lluvia. Esto ha sido descrito en profundidad por V. I. Vernadsky en su libro *Geoquímica* y por E. E. Polynov en su libro *The Cycle of Weathering*, y todo esto se debe a la inteligencia superior del Sol, que impone su voluntad sobre la Tierra. Utilizo el término «voluntad» en el sentido puramente técnico como una medida de inteligencia relativa con potencial de programación.

EQUILIBRIO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA SOLAR

La idea difundida por la ciencia de que «el universo se puede estar desgastando» se basa únicamente en los hechos de la Segunda Ley de la Termodinámica, que afirma que los sistemas energéticos tienden a enfriarse. Esta es simplemente una afirmación referente a la existencia de principios anticibernéticos basados en colisiones ciegas de energía. Aunque no discutimos la realidad de la segunda ley de la termodinámica en la esfera limitada de la energía, lo cierto es que el universo se desgasta (por el momento), y esto nos obliga a aceptar una ley cibernética igualmente universal. Ya sea que creamos que todo comenzó con una explosión o con una creación continua, o bien creamos en la teoría cíclica, el hecho es que si el universo se está desgastando, es porque alguna vez se le «cargaron las pilas», o, quizá, se le estén cargando ahora mismo. Ahora uno podría preguntarse si ese «dar cuerda» es exactamente lo mismo que el proceso cibernético, y la respuesta es que así es. El proceso anticibernético de la Segunda Ley de la Termodinámica es, simplemente, una afirmación de que si revolvemos las cosas, el desorden se hará cada vez mayor, a menos que lo evitemos a través de un comportamiento inteligente, es decir, por el principio del demonio de Maxwell. Así, al igual que la Segunda Ley de la Termodinámica es una ley universal, en vista de que el universo no se ha desgastado todavía, tenemos que concluir que el proceso cibernético debe ser también universal, y el universo debe tener igualmente los atributos globales de inteligencia... y voluntad. De modo que, en vista de que nuestro propio sistema Solar está lejos de estar desgastándose, parece que los procesos anticibernéticos de colisión ciega, deben de estar en una especie de equilibrio con las

fuerzas cibernéticas solares en general, y con la inteligencia del Sol en particular.

Consideramos una explicación elemental de la importancia de la transmisión de datos y la inteligencia en relación con nuestro propio sistema Solar, llegando a las siguientes conclusiones:

1. La fotosíntesis de los vegetales y la estructura de las especies vivas han sido programadas por modelos de datos específicos de radiación solar.
2. La química de la corteza terrestre parece estar enteramente dominada por la programación solar.
3. El equilibrio entre las fuerzas anticibernéticas y cibernéticas en el sistema Solar se debe a la inteligencia del Sol que contrarresta los efectos de la Segunda Ley de la Termodinámica.

Comunicaciones y códigos cósmicos

Hasta ahora hemos desarrollado un cuadro general del universo como un complejo de datos y procesamiento de datos. En el presente capítulo estudiaremos la naturaleza global del proceso cósmico de datos en términos de mecánica de la información para comunicaciones y códigos informáticos.

EL MAR DE RADIACIONES CÓSMICAS

Si construyéramos una cámara herméticamente sellada que no contuviera objetos ni aire, podríamos imaginar que el interior de esa cámara es simplemente «espacio puro», puesto que, aparentemente, todo lo que tendríamos sería oscuridad y calma. Pero si introdujéramos un aparato de radio dentro de ese «espacio vacío» y lo encendiéramos, nos daríamos cuenta de que el espacio está lleno de ondas de radio emitidas por multitud de estaciones. Pero tales ondas son meramente radiaciones producidas por el hombre.

Sin embargo, si a continuación introdujéramos instrumentos más sofisticados capaces de detectar diferentes radiaciones, descubriríamos que el espacio también está lleno de toda clase de radiaciones emitidas por el Sol y las estrellas y, de hecho, de todas las partes del universo. La idea es que vivimos en un verdadero mar de radiaciones cósmicas, y si viajáramos a cualquier parte del universo este mar de radiaciones cósmicas

sería el aspecto más característico de nuestro entorno. Como dijo el profesor James Jeans en una ocasión: «Vivimos en un universo de ondas y nada más que ondas».

ONDAS EN EL ESPACIO, EL TIEMPO Y LA ETERNIDAD

Desde el descubrimiento de la Teoría de la Relatividad de Einstein quedó claro que no existen el tiempo ni el espacio de modo absoluto, y que la realidad fundamental es la radiación, que da origen al espacio y al tiempo. Pero esta radiación se caracteriza por el fenómeno primordial de estar compuesta de un tren de ondas. La unidad básica de cada una de estas ondas se caracteriza a su vez por una oscilación entre un campo electromagnético y un campo electrostático. El tamaño del campo eléctrico, «la longitud de onda», crea una unidad de espacio, y la duración del efecto magnético («el período de la onda») crea una unidad de tiempo. De modo que el espacio y el tiempo están digitalizados por la presencia de una onda eléctrica, y esta es la realidad básica del mundo físico.

Pero si me encuentro en un lugar específico, por ejemplo, en la superficie de la Tierra, y observo desde allí estas radiaciones, por ejemplo, la luz solar, aunque sabemos que cada uno de esos rayos de Sol viaja hasta aquí a la velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, se suceden con tal rapidez, que da la impresión de que la luz siempre está ahí; y si regresara dentro de un año, seguiría estando.

Debido a esta recurrencia o regeneración de ondas, parece que tenemos un fenómeno permanente, y a este aspecto lo denomino, eternidad. Noté que igual que el tiempo y el espacio son propiedades de las ondas, también lo es este aspecto eterno. La eternidad es el aspecto más característico de la física, puesto que se manifiesta en toda la materia, tanto orgánica como inorgánica. Sabemos que en el interior de un átomo hay una considerable actividad, por ejemplo, el electrón gira alrededor del núcleo. Pero estas ondas rotatorias giran eternamente. Un átomo no se desgasta, ni se vuelve menos energético ni más lento: manifiesta movimiento perpetuo de naturaleza no disipatoria, como una rueda bien en-

grasada que, una vez puesta en marcha, sigue rotando sin detenerse. En el caso de los átomos, las ondas nunca se deceleran.

LA DIFERENCIA CUALITATIVA DE LAS ONDAS CÓSMICAS

Cualquier onda cósmica (por ejemplo, de luz solar) se diferencia cualitativamente de otra, solamente, por su frecuencia relativa de vibración, y su energía es proporcional a su velocidad de vibración. De modo que la propia energía es creada por la frecuencia de la vibración de la onda («energía cuántica») y es digitalizada por la energía de una onda de una frecuencia determinada («la constante de Planck» o la unidad de «acción»). Así que hasta esa característica de acción o de energía sumamente fundamental es, también, un parámetro de una onda.

Los seres humanos reconocemos esa diferencia cualitativa entre las ondas (en el caso de la luz solar) como «color». Es la diferencia entre el rojo y el azul, lo cual es un reconocimiento típico de esta diferencia cualitativa, pero también, deberíamos notar que, puesto que el azul representa una (frecuencia más elevada que el rojo, la luz azul posee más energía y más potencial de datos que la luz roja).

DATOS ESPECTRALES

Las frecuencias ondulatorias asociadas con la radiación o la materia son específicas y exactas, y, por tanto, se pueden fabricar con ellas relojes con una precisión de un segundo en muchos años; el reloj de cesio tiene una precisión de uno sobre diez mil millones. Este fenómeno de la exclusividad de las frecuencias de vibración de la naturaleza es un hecho realmente extraordinario. Así un átomo de hierro, por ejemplo, podría caracterizarse por tres o cuatro frecuencias, y estas se hacen muy evidentes si le añadimos un poco de energía extra mientras lo observamos con un espectrógrafo molecular. Si encontramos ese mismo modelo específico de color en la luz de una estrella distante, ya sabemos que uno de los elementos que la componen es el hierro. Esta es nuestra única ma-

nera de conocer de qué elementos están compuestos el Sol y las estrellas que están a cientos de años luz de distancia. Tal información específica, transportada a través de vastas distancias, se denomina información espectral o datos espectrales, y nos sugiere de qué manera se comunica la naturaleza y qué clase de sistemas de codificación utiliza, en sus transmisiones de datos.

CÓDIGOS CÓSMICOS

El principal sistema de codificación utilizado por la naturaleza consiste en la combinación de diferentes frecuencias de radiación específicas para formar «letras» o «palabras». Esto es un modelo de frecuencia, y en términos de luz Solar lo reconocemos como «color compuesto». Pero si analizásemos ese color con un dispositivo sencillo, como un prisma óptico, o uno más sofisticado, como un espectrógrafo molecular, podríamos descomponerlo en sus colores constituyentes o frecuencias específicas.

Este sistema tiene su analogía en un acorde musical formado por diferentes notas, y lo más significativo de esos modelos es que, esencialmente, existen con independencia del tiempo y el espacio, y se puede considerar que son fundamentalmente eternos.

CÓDIGOS CÓSMICOS EN LA ETERNIDAD

Si comparamos los códigos cósmicos de la luz solar y el espacio interestelar en general, encontraremos una diferencia fundamental con los tipos de códigos que utilizamos en los ordenadores. En ellos, normalmente, usamos datos y códigos temporales, puesto que el mensaje sólo puede ser comprendido después de un cierto período de tiempo en el que los elementos de datos son revelados progresivamente. Esto, generalmente ocurre en el habla y la escritura humana cuando se hace una declaración, ya que es necesario esperar a que termine la oración completa para que se pueda comprender su significado.

Pero la naturaleza funciona de otra manera, y al parecer transmite su información simultáneamente como un modelo sincrónico de frecuencias específicas relacionadas que contienen un complejo análisis de color, y tal información no sólo es simultánea, sino que además dura para siempre en la eternidad. Por tanto, encontramos que el sistema más general de transmisión cósmica de información se basa en complejos de frecuencias que parecen mantenerse indefinida y eternamente como «un mensaje permanente».

LA CAPACIDAD INFINITA DE INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN CÓSMICA

De este modo construimos un cuadro general de la radiación cósmica, como si tuviera la naturaleza de un *mar de radiación sólida*, de modo que en cualquier situación hay un modelo permanente de radiación con información simultánea, que es posible descodificar en dicha ubicación concreta por cualquier sistema capaz de reaccionar con sentido ante una combinación determinada de frecuencias. Sin embargo, a causa del espectro virtualmente infinito de frecuencias posibles, cubriendo un ancho de banda conocido de unos 10^{16} , las posibilidades de que unas frecuencias escogidas compongan un modelo con sentido son infinitas.

Cuando me he referido solamente a un «ancho de banda» de 10^{16} lo que quiero decir es que si se define una frecuencia mínima, la máxima será de 10^{16} veces mas rápida.

LA DESCODIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN CÓSMICA

Puesto que toda ubicación del universo está inmersa en este *mar de radiación sólida* con capacidad infinita de información simultánea, el problema es cómo puede una ubicación determinada extraer de ahí la información concreta que necesita (por ejemplo, para la creación y el mantenimiento de la vida). Afortunadamente, conocemos, por una analogía exacta con las radiaciones producidas por el hombre, cómo es probable que se lleve a cabo esto.

El ejemplo comparativo que he escogido es el de las emisoras de radio de la Tierra, que llenan la atmósfera en todo momento con más de diez mil programas diferentes, todos los cuales están presentes simultáneamente en cualquier punto de la superficie terrestre, pero con una frecuencia característica de cada una dependiendo de la emisora. De ese modo, todo lo que necesitamos es sintonizar la emisora que queremos escuchar, para seleccionar esa en particular y rechazar todas las demás. Esta sintonización la realiza el receptor de radio mediante un péndulo electrónico resonante («circuito oscilatorio») que lleva en su interior, y que sólo responde a una frecuencia específica. Cuando este péndulo recibe esa frecuencia, comienza a vibrar con ella y actúa como una puerta que le permite el paso al sistema. Este sistema selector de información se denomina más correctamente «puerta resonadora».

Regresando a las radiaciones cósmicas al considerar que portan la información codificada en la forma de un modelo específico de frecuencias, para descodificar este modelo y rechazar todas las otras frecuencias irrelevantes, necesitamos varias de estas puertas resonadoras, cada una sintonizada a una de las frecuencias deseadas, y este sistema más complejo se puede describir como «un sistema combinado (o múltiple) de puertas resonadoras». Tales sistemas son muy habituales en los «codificadores de tonos» de las comunicaciones electrónicas humanas, y funcionan exactamente de la misma manera, mediante una serie de puertas resonadoras que admiten un cierto modelo de frecuencias de vibración transmitidas que pueden ser combinadas en un resultado reconocible o con sentido.

LOS RECEPTORES DESCODIFICADORES DE LA NATURALEZA

Estos sistemas de receptores descodificadores naturales son bien conocidos, ya que son simplemente la materia. Cuando reconocemos que un narciso iluminado por la luz blanca del Sol es amarillo, lo que sucede es que el narciso incorpora un sistema descodificador que admite el rojo, el naranja, el verde y el azul, pero no el amarillo. Este grupo de cuatro colores básicos es admitido a través del sistema combinado de

puertas resonadoras de los átomos del narciso, que en cambio rechaza el amarillo, por lo que este último puede llegar al ojo del observador. De modo que en realidad, el amarillo es el único color del que no es un narciso. Lo que vemos como amarillo es lo que la flor ha rechazado porque carece de una puerta resonadora para él. De igual manera, cuando vemos «hierba verde», lo que ocurre es que esa hierba tiene un sistema combinado de puertas resonadoras para el rojo, el naranja, el amarillo y el azul, pero no para el verde. De modo que, de nuevo, el verde es el único color del que no es la hierba.

Por tanto, cuando vemos colores en la naturaleza, todo cuanto vemos es en realidad lo que ella rechaza. Todo esto es muy interesante, porque significa que la naturaleza, en general, acepta muchas más vibraciones cósmicas (como la luz solar) de lo que habíamos imaginado, y que, además, no funciona como una única puerta resonadora, sino con sistemas combinados de tales puertas capaces de admitir muchos códigos de frecuencias con sentido.

En conclusión, la importancia del color consiste en que la naturaleza absorbe ciertas frecuencias a través de sus átomos, que actúan como combinaciones de puertas resonadoras, y lo que vemos, al mirar al mundo natural, es sólo lo que este rechaza.

RESONADORES ATÓMICOS

Las puertas resonadoras atómicas son bien conocidas, y se agrupan en dos sistemas: *a*) las capas de electrones en órbita que absorben información de color, y *b*) los resonadores nucleares que absorben información de rayos X y rayos gamma. En general, el efecto de tal absorción de modelos de vibración específicos es la estimulación de los átomos en términos de su propia naturaleza. Sin embargo, cuando la energía de la vibración envuelta es de tal magnitud y potencia que logra abrirse camino a través de puertas resonadoras que están configuradas para rechazarla, la materia puede ser destruida y, por ejemplo, la radiación gamma puede provocar mutaciones genéticas. Esto es «la violación de la materia». Lo que la física parece dejar claro es que todas las radiaciones in-

herentes a la materia son también inherentes a las radiaciones cósmicas, y, por tanto, la materia está relacionada con las radiaciones cósmicas por tener modelos de vibración específicos correspondientes a los modelos de combinación de frecuencias específicos de éstas.

Incluso es probable, por tanto, que «la materia sea programada por las radiaciones cósmicas» puesto que cualquier materia específica «simpatiza» armónicamente con un modelo específico de radiación cósmica.

Las comunicaciones cósmicas parecen tener lugar mediante radiaciones, de las cuales, la luz solar es típica, y la información parece estar simultáneamente presente a lo largo del espacio como modelos de frecuencias en la eternidad. Los receptores de tales comunicaciones son los diferentes tipos de materia, cada uno de los cuales parecen tener «sistemas de puertas resonadoras» de acuerdo con el modelo de sus átomos constituyentes.

Una analogía de este sistema es el receptor de radio que puede sintonizar una selección específica de ondas de radio transmitidas.

Invisibilidad cibernética universal

En este capítulo analizaré la relación entre una filosofía cibernética y los aspectos invisibles e intangibles del universo y, por tanto, en cierto modo, con la física de lo oculto. Porque el hecho es que, si nuestro universo tiene un propósito y un significado, por esa mismísima razón, una parte importante debe estar oculta. Pero ese es el punto que trataré de establecer.

EL ARGUMENTO DEL DISEÑO

El famoso «argumento del diseño» nos dice que «si examinamos un objeto que aparentemente tiene un propósito, como un reloj, el sentido común nos indica que en algún lugar tiene que haber habido un relojero, puesto que los relojes no caen de los árboles». Pero los árboles también manifiestan tener una función con sentido, de hecho mucho más compleja y técnica que un reloj, y, por tanto, los defensores de este argumento insisten en que este hecho prueba que debe haber un diseñador o creador de árboles. Este argumento tiene dos grandes defectos. Por un lado, sugiere que «Dios está hecho a imagen del hombre», y que puesto que los artefactos humanos requieren un diseñador humano, las creaciones naturales, tales como los árboles, requieren «diseñadores naturales», y, por tanto, la necesidad de «Dios».

Pero el segundo defecto que generalmente se encuentra en este argu-

mento es que no se puede, demostrar. ¡Nadie ha visto a Dios manos a la obra diseñando árboles! Pero, en realidad, este último razonamiento es la mejor prueba de la veracidad del argumento del diseño, puesto que los diseñadores son intrínsecamente invisibles. No obstante, la verdadera prueba del asunto señala a la lógica cibernética.

EL ARTE CIBERNÉTICO

El aspecto principal del arte cibernético es el diseño y la utilización de sistemas que funcionan eficazmente. Un ejemplo es un sistema de aterrizaje automático para aviones controlado por ordenador. Un ejemplo mejor podría ser un árbol. Quizá, el propio hombre sea el mejor ejemplo de todos. En todos estos casos, se trata de sistemas en los que muchos componentes trabajan a la vez para desarrollar una función eficaz de conjunto. Así, en estos tres ejemplos, los que vemos por fuera es una función eficaz compleja. En la naturaleza observamos esto desde la diminuta escala de los átomos hasta el nivel de la biosfera completa, que revela un grado extraordinario de equilibrio de fuerzas sistemático. Puesto que el Sol desempeña un papel fundamental en este sistema (véase el capítulo 5), es razonable concluir con esta evidencia como base de que, al menos, nuestro sistema Solar sea completo desde su totalidad hasta sus más pequeños fragmentos, y que esté desarrollando una función eficaz compleja.

Como seres humanos, todo cuanto podemos ver en la naturaleza es este diseño sistemático y, de hecho, de esto es de lo que trata la «ciencia».

CIENCIAS CUANTITATIVAS Y CUALITATIVAS

Hasta 1930 aproximadamente, la ciencia estaba dominada por los físicos. La categoría principal de la física era la energía, y los experimentos se llevaban acabo, principalmente, mediante lecturas de dispositivos medidores que evaluaban tal energía en términos de números relativos o escalas de magnitud. De hecho, al leer un libro como *La naturaleza del*

mundo físico de Eddington, uno tiene la impresión de que toda la ciencia consistía en esas magnitudes cuantitativas de energía que podían medirse en números. Hasta en referencia a la estructura atómica y molecular estaba muy arraigada esta actitud de numerar todo; por ejemplo, el nitrógeno tenía exactamente catorce nucleones, mientras que el carbono tenía sólo, pero exactamente, doce. Hasta en el estudio de las radiaciones como la luz ocurría lo mismo, ya que se contaba el número de vibraciones por segundo para decidir cuál luz era roja y cuál azul.

Pero la biología fue la primera ciencia que dio la voz de alarma acerca del uso de tales cuantificaciones como el único modo de describir la naturaleza, ya que estudiaba sistemas vivos que se describían mejor con ordenaciones que con números.

Más recientemente, la biología molecular decidió que el fundamento de la vida no se encuentra solamente en las ordenaciones de las moléculas, sino que esas ordenaciones contienen básicamente información o códigos. Pero las ordenaciones sistemáticas son fundamentalmente cualitativas. Una vaca puede tener el mismo número de átomos que un caballo, pero es la manera como están ordenados en sistemas esos átomos lo que decide la diferencia entre un caballo y una vaca, y esa diferencia es un asunto cualitativo.

De modo que la ciencia está avanzando, apartándose de las lecturas de los medidores de energía relativa, un asunto cuantitativo, para dedicarse en su lugar al estudio de la ordenación y el diseño, que son asuntos cualitativos. No estoy diciendo que la ciencia cuantitativa esté equivocada, sino que sólo es aplicable a los fenómenos elementales de la física, esencialmente a la física fundamental de partículas y radiación. Pero tan pronto como las partículas o las radiaciones comenzaron a aparecer en estructuras organizadas o funciones de procesos, uno ha pasado el Rubicón de las consideraciones cuantitativas a las cualitativas.

LA CIBERNÉTICA COMO CONTROL DE LA FUNCIÓN CUALITATIVA

La cibernética («el arte del timonel») trata del diseño y el control de sistemas complejos. Tomemos como un ejemplo sencillo el de un orde-

nador que controla una siderurgia y existen muchos casos semejantes. Sólo hay dos aspectos principales diferentes:

- a) El complejo sistema físico de la siderurgia.
- b) El ordenador que lo controla.

Existen dos líneas de comunicación entre los dos aspectos, una («percepción») que indica al ordenador lo que ocurre a cada momento en el proceso, y otra («actuación») por la que el ordenador indica al proceso lo que debe hacer a continuación. Pero es interesante que *ambas* líneas de comunicación pertenecen al ordenador. De modo que este tiene una especie de «doble conciencia» del sistema que lleva a cabo el proceso, primero inquirir qué es lo que ocurre, y después decidir y actuar de manera efectiva para controlarlo.

Por tanto, ambos canales de comunicación fundamentalmente *salen del ordenador*, uno para inquirir y otro para actuar en el ser humano; estos canales se corresponden con los sistemas nerviosos aferente y eferente.

Esto da lugar a una relación de «maestro y esclavo» entre el ordenador y el proceso controlado, en la que el ordenador es consciente del proceso, pero este último *no* es consciente del ordenador que lo controla. El proceso es completamente ciego a la situación y simplemente «hace lo que le mandan» sin tener idea de cómo le llegan esas instrucciones ni «por qué» ocurre así. En otras palabras, la esencia fundamental del ordenador es *invisible* para el proceso controlado, de igual manera que el conductor es invisible para el automóvil.

Podemos expresar esto como un principio fundamental:

En un sistema complejo eficaz que se encuentra bajo algún tipo de control cibernético, ese control será invisible para el sistema manifestado debido a que los canales de consulta y mandato son de una sola dirección.

EL SEGUNDO ARGUMENTO

Cuando se diseña un sistema cibernético (y yo me gano la vida haciéndolo), una siderurgia controlada por ordenador, es fundamental que el sistema de control funcione a mayor velocidad que el proceso bajo control. Vamos a demostrar este punto mediante la reducción al absurdo.

Imagínese una siderurgia que, bajo ciertas condiciones podría saltar por los aires en cinco minutos si se produjera un error y suponga que dicha siderurgia está controlada por un ordenador que tarda diez minutos en observar lo que ocurre y decidir qué hacer. Lo mejor en ese caso, si se produjera el error, sería echar a correr. Si la catástrofe va a tener lugar en cinco minutos, lo propio sería que el ordenador pudiera reaccionar en cuatro minutos, o mejor aún, en cuatro microsegundos (que corresponden más bien a la velocidad de funcionamiento de los ordenadores). De modo que un sistema de control debe funcionar mucho más rápido que el proceso que controla, puesto que tiene que *anticiparse* a cualquier eventualidad que pudiera ocurrir y reservar tiempo para «pensar». Esto sólo es posible si el ordenador que controla el proceso funciona en una escala de tiempo muy diferente y, mucho más rápida que la del proceso controlado.

Ahora bien, los ritmos de trabajo más rápidos pueden contener más información que los más lentos, por ejemplo, un aparato de televisión que funciona a 4.000.000 ciclos por segundo, en comparación con un receptor de radio que funciona a 10.000 ciclos por segundo, puesto que uno de los hechos fundamentales de la teoría de la información es que «cuanto más rápida sea la vibración, mayor será la capacidad potencial de información».

De modo que nuestro ordenador que controla la mencionada siderurgia puede (típicamente) funcionar a 1.000.000 ciclos por segundo, es decir, que tiene un tiempo de decisión de un microsegundo, mientras que la siderurgia puede funcionar típicamente con períodos de cinco minutos (el tiempo que tarda un horno en calentarse o enfriarse, o el tiempo que tarda una cinta transportadora en acelerar o reducir su velocidad), y esta diferencia se debe a que el ordenador debe ser mucho más «inteligente» que el proceso controlado, y de ese modo observar, pensar y decidir más rápidamente que él.

Pero ahora nos encontramos con una situación inusual. ¿Cómo puede un proceso con un tiempo de respuesta de cinco minutos observar, comunicarse con, o concebir un ordenador cuyo tiempo de respuesta es de un microsegundo, 300.000.000 veces más rápido? ¡No puede! Ya hemos visto en la sección anterior que el control cibernético es invisible para el proceso bajo control debido a la comunicación en un *sentido*, pero ahora tenemos un argumento adicional y bastante diferente para que el proceso sea ciego a la existencia de su sistema de control, debido a las diferentes longitudes de onda con las que trabajan, y podemos definirlo como:

El control cibernético de un proceso es invisible para dicho proceso a causa de los diferentes ritmos a los que funcionan, puesto que el ritmo más lento del proceso no puede comprender ni «ver» el ritmo más veloz del control cibernético.

Una extraña conclusión: la inherente invisibilidad de «Dios». Si estamos en un universo cibernético que manifiesta propósito y significado, entonces la fuente de control («Dios», «Razón Cósmica», «Naturaleza») debe ser invisible por las razones expuestas en los razonamientos anteriores acerca del «sentido único de la comunicación de control», y la «diferencia de ritmo cibernético» indetectable desde la perspectiva más lenta. De modo que el hecho de que los defensores del Argumento del Diseño no puedan demostrar sus puntos de vista presentando a un «Dios» visible y tangible; no hace más que aumentar la probabilidad de que su razonamiento sea correcto. De hecho, si la cofradía del Argumento del Diseño me hubiera mostrado a «Dios, el Creador» en tecnicolor, me habría visto obligado a declarar que éste no podría ser un universo cibernético y que su «Dios» era un abuso y un fraude. Porque cualquier creador y controlador genuino *debe ser invisible*.

Las implicaciones de los argumentos cibernéticos que he expuesto son considerables. Indican que, por definición cibernética, si existen niveles superiores deben ser invisibles (por «dirección cibernética» y «diferencia de ritmos»). También indican que si tales niveles superiores desearan alguna vez manifestarse, tendrían que hacerlo al nivel del «pro-

ceso controlado». En términos de la sociedad humana, esto significa que los niveles superiores sólo podrían manifestarse como seres humanos del mismo ritmo básico («vibraciones») que nosotros.

Qué bien que Cristo y Buda hicieran exactamente eso, poniendo el sello de visto bueno a mi razonamiento.

El propósito del Universo

Parece que vivimos en un Universo que, examinado desde «fuera», revela una construcción digitalizada, en cierto modo como un ordenador electrónico, y estamos tentados a sugerir que el «interior» bien puede estar formado por datos, procesamiento de datos y significado. Esta visión está acentuada por la existencia de la naturaleza orgánica y la necesidad de tratar el fundamento de la vida, el ADN y el ARN como un código de información. Pero de la teoría de la relatividad y de nuestra experiencia de la vida, basada en el sentido común, podemos mirar al «interior» de los sucesos para ser testigos de una construcción triádica del «sí mismo»; el panorama y el campo de consciencia, y esto verifica totalmente que tan sólo el significado o la inteligencia son capaces de validar la experiencia. De este modo, ya miremos al Universo desde dentro o desde fuera, llegamos al hecho fundamental de que *todo es inteligencia*.

Pero la inteligencia y el propósito están hermanados, y de este modo estamos autorizados a hacer la pregunta, ¿cuál es el propósito del Universo Inteligente? Confieso que la única respuesta que puedo hallar es que su propósito es llegar a ser más inteligente. Hay algunos que opinan que, en algún lugar detrás del universo, existe un amplio fondo común de inteligencia que todo lo crea, pero en ese caso, ¿qué sentido tiene crear un universo manifiesto para demostrar una inteligencia que siempre está presente? Esto nos lleva a una comprensión errónea de la naturaleza, de la inteligencia que ha de estar involucrada con la *experiencia*.

No hay tal cosa como la inteligencia en el vacío. Es decir, la inteligencia y la creación son dos formas de mirar el mismo asunto, ya que la creación es simplemente el panorama de un suceso experimentado.

Así, el universo creado, en sí mismo, es inteligencia, aunque hayamos visto que la relatividad de la inteligencia significa que se puede manifestar en tres tipos de actitud: la iniciadora, la de réplica o la imparcial.

Ya que la palabra «inteligencia» abarca la totalidad de la realidad, siendo esta la esencia de la relatividad, entonces el propósito tan sólo se puede referir a algún aspecto de la inteligencia. Pero, ¿qué podemos decir de la inteligencia sino que puede que haya más o menos en un sentido cualitativo? O, simplificando la pregunta, ¿se está volviendo el Universo más o menos inteligente? Y ya que no veo ningún *propósito* en que se vuelva menos inteligente, tan sólo puedo exponer que:

El propósito del Universo tiene que ser volverse más inteligente.

Desde luego, esto parece ser cierto si se consideran los hechos de la evolución de la vida orgánica sobre la faz de la Tierra, ya que la dirección del tiempo es aquella de la evolución de los seres hacia la posibilidad de una inteligencia superior, cuyo punto culminante parece ser el propio hombre. De modo que, sustituyendo los términos, podríamos aplicar este postulado del universo a la humanidad y afirmar:

El propósito del hombre es llegar a ser más inteligente.

Realmente no es muy complicado y pienso que esto es cierto tanto del hombre como individuo como de la sociedad humana en general.

El eterno retorno

El sistema solar se reciclará, volviendo a la Vía Láctea, de donde salió, para regenerarse y concentrar su energía gastada. Será el fin térmico del sistema Solar, de acuerdo con el segundo principio de la Termodinámica tendrá lugar al llegar al máximo de entropía, obteniéndose una uniformidad que haga imposible toda transformación química o física. Se habrá llegado a una anulación de la energía disponible para la realización de los fenómenos que constituyen la dinámica y la vida en el sistema Solar; en definitiva, el aumento de entropía, lleva consigo una degradación de la energía, y el fin térmico.

Una vez reciclado el sistema Solar, volverá a funcionar otra vez, apareciendo la vida y la humanidad en cada uno de los planetas, ya reciclados. Apareceremos todos los hombres otra vez, pero como nuestra memoria actual ha sido destruida por la muerte, ya no nos acordaremos de nada. Otra humanidad nueva, y así sucesivamente y eternamente, antes, ahora y después. Son ciclos eternos.

EL CEREBRO TIERRA

El cerebro (hardware) recibe la información a través de los cinco sentidos, la procesa y la guarda en su memoria. La Tierra también recibe la información (software) del exterior, del Sol en su superficie, en las plantas, etc., la procesa y la guarda en su superficie (memoria). Por

ejemplo, la fotosíntesis, el ciclo del agua, etc., la Tierra es un cerebro muy grande que procesa mucha información durante el día y por la noche descansa y así durante millones de años y continuará mientras llega la energía del Sol (la información).

El hombre ha construido el ordenador que procesa más rápidamente que su constructor, pero el hombre sigue controlándolo. El cerebro humano también descansa por la noche, como la Tierra. Esta ha creado al hombre que procesa la información más aprisa que ella, pero la Tierra controla al hombre perfectamente, que sale, que procede de ella y vuelve a la Tierra. El hombre tiende a perfeccionar el ordenador a su imagen y semejanza, para que éste imite su cerebro lo más perfectamente posible. Este es el propósito del hombre: reproducir su cerebro, crear su cerebro.

La Tierra igualmente trata de perfeccionar al hombre para que éste tenga tanta información como ella. El hombre imita a la Tierra, creando la vida artificial y la inteligencia artificial. Este es el propósito de la Tierra. Que el hombre haga otra Tierra. Ya lo está intentando, creando satélites artificiales y enviándolos al espacio. Cada vez imitará más y más a la Tierra hasta copiar su información. Formará los minerales, las plantas y los animales.