

EL COMPUTADOR, LA CIBERNETICA Y LA TEORIA DE LA INFORMACION: DE LA BIOMEDICINA A LA INFOMEDICINA

ACADÉMICO

JOSÉ FÉLIX PATIÑO RESTREPO, MD, FACS (HON)*

El enorme acumulo de información y el arrollador avance de las comunicaciones, dos fenómenos característicos del siglo XX, han hecho que nuestra época sea llamada la **era de la informática**.

Se denomina **informática** a la técnica -algunos consideran que ya es una ciencia- que trata de la información, y más específicamente de la sistematización (médicos automatizados) de la información. Y de los medios automatizados el computador es el paradigma.

El **computador** se ha convertido en un componente esencial del diario devenir: afecta todas las actividades de la vida moderna, incluyendo la ciencia, el trabajo, la salud, la educación, las finanzas, el transporte, el entretenimiento.

En cuanto a la aceptación universal del computador, se ha comparado la situación a la de la humanidad de hace casi 100 años, cuando apareció el automóvil. En un principio se lo consideró como una máquina exótica, compleja y lenta, tal vez con un potencial para el futuro. Hoy la humanidad acepta el computador y lo incorpora a su

vida en forma tan universal como lo hace con el automóvil. Es un ente ubicuo en la sociedad actual.

Así como el automóvil es un amplificador de la capacidad de locomoción del hombre, el computador es un poderoso amplificador de su capacidad intelectual, pero también de su cultura y humanismo, por cuanto posee un potencial casi ilimitado para almacenar información, en multimedia (texto, sonido, animación, video), que la hace fácilmente asequible en tiempo real y sin límites de espacio ni distancia.

Tal como el ciudadano del siglo XVIII, el de la era de la razón, tendría gran dificultad en prever el cambio del mundo inducido por la electricidad, las telecomunicaciones, el transporte en jet y la biotecnología, los que vivimos a finales del siglo XX también encontramos difícil asimilar el impacto de la gran fuerza evolucionaria que está remodelando nuestro mundo: la fusión del computador con la tecnología de las comunicaciones, lo cual era apenas un sueño en 1991 y hoy es ya una plena realidad (Editors 1995).

El computador personal ya es un elemento omnipresente en nuestra vida diaria; se construyen “edificios inteligentes”, y las nuevas construcciones de oficinas y residencias tienen pantallas electrónicas incorporadas a las

* Oficina de Recursos Educativos, Federación Panamericana de Asociaciones de Facultades (Escuelas) de Medicina. Santafé de Bogotá, Colombia

paredes. La ubicuidad del computador multimedia como instrumento sin par para el manejo de las comunicaciones es una característica definida de nuestra época a fines del siglo XX (Weiser 1995).

Hace pocas semanas Francisco Santos Calderón resumía así la perspectiva de la revolución de la informática y de las comunicaciones en su columna del diario *El Tiempo* de Santafé de Bogotá: “¿Quién, hace unos años, podría haber soñado en leer los periódicos más importantes del mundo sin importar donde se encuentren? ¿Quién podría haberse imaginado solicitar películas desde su televisor y poderlas adelantar, detener y repetir como si estuviera usando una videograbadora? Y ni hablar de las ayudas y documentos digitales multimedia que se pueden comprar para el hogar. Las enciclopedias en su formato de papel desaparecerán, los discos de acetato son ya una reliquia y el correo electrónico ya superó en volumen al tradicional. La imaginación es el límite de lo que viene. NCC, o ‘network centric computing’, los computadores o cajas para Internet y las comunicaciones satelitales personales son apenas una prueba de las muchas maravillas que nos traerá el siguiente milenio. Sin duda, con él continuará la revolución informática. Afectará tanto nuestras vidas que el mundo de nuestros hijos será muy diferente del nuestro. Seguramente uno mejor”. Por ello, el columnista afirma que “tengo suerte al estar vivo en estos momentos trascendentales de cambio”. (Santos 1996).

LA SEGUNDA REVOLUCIÓN MÉDICA

En medicina es particularmente notoria y tiene especial pertinencia la revolución de la información, puesto que el ejercicio de la profesión médica no es sino un ejercicio en el manejo de la información.

La aplicación y la forma de aplicar el conocimiento médico sistematizado tiene impacto directo sobre el diseño y la operación de cualquier sistema de salud. Se debe

reconocer que un servicio de salud, en esencia, no es sino un sistema de información.

La informática, o sea la ciencia y la tecnología del manejo de la información, con su avance acelerado presenta para la ciencia biomédica un nuevo y esplendoroso panorama, que nos lleva a reconocer que la **Segunda Revolución Médica**, la **de la biomedicina a la infomedicina** planteada por Laurence Foss y Kenneth Rothenberg en 1987, con un significado cibernético, es ya una realidad. Para estos autores la información es entendida en su sentido etimológico, como un agente activo, como algo que **informa** al mundo material. En tal sentido, informar significa formar y conformar: los mensajes emanados de un nivel de organización son habilitados para reformar y para ser reformados por mensajes provenientes de otro nivel de organización. Así, un programa modula el comportamiento de un computador, lo cual quiere decir que psicoanalizar un computador equivale a escudriñar sus programas.

La percepción cibernética de Foss y Rothenberg de la persona humana como un sistema organizado, la aplicación de la teoría de los sistemas y su visión de los niveles de organización que determinan no sólo la estructura y función del cuerpo sino también su estado de bienestar o de enfermedad, los llevan a su trascendental y bien construido planteamiento.

¿Qué significado tiene la erudición en el presente mundo digital? Se reconoce que la información es perecedera, es fácilmente diseminable, difícil de confinar a una propiedad determinada y ya prácticamente está libre de límites y casi que de limitaciones. La propiedad intelectual en el mundo digital tiene características diferentes de posesión, seguridad y retribución económica, que en el mundo de la información impresa. Por todo esto, aparece evidente la urgencia de que el sector académico implemente programas orientados al desarrollo de la habilidad y la idoneidad en el manejo de la informa

(Frisse 1994). S. Chodorow, “provost” de la Universidad de Pensilvania, ha advertido que ya es hora de que los educadores tomen la revolución electrónica en serio (Chodorow 1996).

La profesión médica y las facultades de medicina se enfrentan a un desafío sin precedente, y deben adquirir plena conciencia de lo que significa el desarrollo de las comunicaciones, la revolución de la información y el advenimiento de la informática como el nuevo paradigma de la educación y de la erudición médicas. Por una parte, deben acondicionar su infraestructura tecnológica y administrativa, y por otra, tal vez más importante, desarrollar habilidad, o sea idoneidad, en el manejo de la información.

Foss y Rothenberg plantean la segunda revolución médica en términos de una consideración teórica y filosófica que crea el puente entre los fundamentos de la biomedicina y los de la infomedicina. La transición de la concepción biomédica de nuestra ciencia a una concepción infomédica significa un cambio paradigmático, una variación de una estrategia de ingeniería biológica a una estrategia claramente cibernética, de un modelo ingenieril a un modelo de comunicaciones, a un modelo informático.

Nuestra era está siendo marcada por el paso de la biomedicina a la infomedicina como resultado de la segunda Revolución Industrial que vivimos.

LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

R. Kurzweil (1994) ha analizado en forma didáctica y profunda el fenómeno de la “segunda Revolución industrial”, que es la revolución de las máquinas inteligentes. Su análisis parte de una fecha histórica: el 26 de marzo de 1773, cuando un inventor británico de nombre John Kay recibió la noticia de que la Oficina Inglesa de Patentes le había concedido la patente por su nueva máqui-

na para procesar lana, la “lanzadora volante”. De allí se derivó la más conocida hiladora de algodón de Sir Richard Arkwright, patentado en 1770, la cual se reconoce como el punto de partida de la Revolución Industrial.

Para 1780 se habían desarrollado nuevas máquinas hiladoras, y para finales del siglo XVIII se estaban mecanizados en Inglaterra los métodos para la producción de textiles: la Revolución Industrial, la primera Revolución Industrial, se hallaba en plena marcha.

Luego vino, en el siglo XIX, la gran expansión del proceso de industrialización. Henry Ford (1863-1947) implantaba el concepto de la producción en masa y T.A. Edison (1847-1931) abría el camino para el dominio de la electricidad. Las naciones de Occidente, Norte América y Europa, y también el Japón, viraban de su economía basada en la agricultura, a una dominada por las máquinas, a una economía industrial automatizada.

El desarrollo de las máquinas ha sido una característica del siglo XX. La primera Revolución Industrial, o sea la de los dos últimos siglos, se caracterizó por el desarrollo de máquinas, de creciente complejidad, que permiten a los humanos realizar trabajos para los cuales su estructura física no está capacitada, y completar labores de gran eficiencia y a alta velocidad.

El fenómeno se ha acompañado de no poca controversia. Por una parte, se planteó el efecto negativo que podría tener desde el punto de vista social y económico, y específicamente se predicó el fenómeno del desempleo resultante de reemplazar el trabajo humano por trabajo mecanizado. El gran desarrollo económico de los países de Occidente, y más recientemente del Japón, su mejor calidad y expectativa de vida, sus más altos índices de educación y de cultura, y su multiplicado ingreso per capita, fueron las respuestas. Y por otra parte, a pesar de algunos cuestionamientos sobre la deshumanización del

hombre, se reconoció siempre la superioridad del ser humano frente a la máquina que él diseña y que él manipula.

A más de 200 años de la Revolución Industrial, la edad presente ha sido llamada la de la **segunda Revolución Industrial**, con el computador y otros equipos automatizados en la cima del cambio tecnológico siendo ellos epicentro y, a la vez, factores de cambio social, a lo cual se refirió John Hargreaves desde la década de 1960.

En 1994 afirma R. Kurzweil: “La segunda Revolución Industrial, la que ahora está en progreso, se basa en las máquinas que extienden, multiplican e influyen en nuestras habilidades mentales. Las mismas controversias sobre el impacto social y económico están surgiendo en esta segunda gran ola de automatización, sólo que ahora está emergiendo una pregunta nueva y más profunda. Todavía consideramos que nuestra especie es mediocre en su capacidad física, pero este no es nuestro punto de vista cuando nos referimos a nuestra capacidad mental. El verdadero nombre que nos hemos dado, **Homo sapiens**, nos define como personas pensantes.

“La característica primaria en nuestra distinción biológica es la habilidad de nuestra especie para manipular símbolos y usar el lenguaje... Esta última Revolución, basada en las máquinas que expanden el alcance de nuestra mente, tendrá un mayor impacto que la revolución que simplemente expandió el alcance de nuestros cuerpos... El costo-beneficio del acceso a los insumos en nuestra nueva base tecnológica -constituida por computadores y todo lo relacionado con la tecnología de los semiconductores- se está incrementando exponencialmente. El poder de la tecnología computacional se duplica (por el mismo costo unitario) cada 18 a 24 meses”.

La segunda Revolución Industrial, la de las máquinas “inteligentes”, está cambiando toda la forma de vivir de

la humanidad. Está alterando las relaciones comerciales y culturales globales, impulsa un acelerado y sobrecogedor avance en la biotecnología y en la ingeniería genética, permite la racionalización de la información biomédica y ya demuestra un potencial en la corrección de los problemas que afectan a los minusválidos tales como ciegos, sordos y parapléjicos.

También analiza Kurzweil las características de la segunda revolución industrial; un aspecto muy destacado es que la nueva tecnología de las máquinas inteligentes es que casi no utiliza recursos naturales, y para ello basta considerar el ejemplo del chip de silicón, que es el elemento básico del procesador, el cual utiliza una cantidad infinitesimal de arena y casi nada de electricidad. En la medida que los computadores avanzan y se hacen más poderosos, los materiales utilizados en su construcción representan un valor relativamente menor. Los softwares virtualmente no usan recursos naturales. El valor de esta tecnología reside en el *conocimiento* y el *talento* que permiten el diseño del hardware, software y las bases de datos que constituyen la inteligencia de las máquinas. Kurzweil pone un muy buen ejemplo para ilustrar la importancia del decrecimiento del uso de recursos naturales en las nuevas tecnologías: el Japón, un país muy pobre en recursos naturales pero rico en conocimientos y organización, en gran parte a través de la industria electrónica se ha convertido en la segunda nación más rica del planeta. Y advierte que allí hay esperanza para las naciones emergentes, ahí está el potencial “para entrar de lleno a la industrialización y al desarrollo postindustrial de las sociedades, basadas en una economía de información. Mientras la Revolución Industrial incrementó la demanda y el valor de los recursos, la segunda revolución industrial está haciendo lo contrario”.

La humanidad veía un “futuro electrónico”: ¡ta! futuro ya es una realidad, y es la nueva revolución. En los Estados Unidos, desde 1991, los gastos capitales en computado-

res y comunicaciones exceden a las inversiones en la industria pesada (McGrath 1994).

En relación directa con el avance de la tecnología, las funciones humanas están siendo reemplazadas o amplificadas por aparatos, por nuevas máquinas, y **la máquina suprema del siglo es el computador. Porque el computador es, ante todo, un amplificador de la capacidad intelectual del hombre.**

La información, que es el fundamento de la sociedad moderna, es de creciente complejidad, y la mente humana no tiene capacidad suficiente para manejarla. El computador, como instrumento de manejo de la información, por lo tanto, no es un “suplantador”, sino un aliado, un poderoso aliado, del hombre. Así se expresaba John Hargreaves en un libro que planteaba temas para la “era de la automatización”, el cual fue “*best seller*” hace 30 años.

LA TEORÍA DE LA COMUNICACIÓN Y LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

Uno de los fenómenos característicos del siglo XX es el gran desarrollo de los medios de comunicación. Y concomitante con la aparición de métodos, aparatos y dispositivos para transmitir y procesar la información, se ha desarrollado una teoría unificadora denominada *teoría de la información*, la cual ha sido motivo de intenso estudio e investigación.

La **teoría de la información** es una representación matemática de las condiciones y parámetros que involucran la transmisión y el procesamiento de la información. Se deriva de los planteamientos originales de Claude E. Shannon, publicados en el *Bell System Technical Journal* en 1948.

En un sentido muy general, la información es interpretada como los mensajes que proveen los medios estándar de comunicación, tales como el telégrafo, la radio o la

televisión, y las señales involucradas en los computadores electrónicos, los sistemas de servomecanismo (o de autorregulación) y otros dispositivos y aditamentos para el procesamiento de datos.

La teoría de la información también se aplica a las señales que aparecen en los sistemas nerviosos y neuronales del ser humano y de todos los organismos vivos. Los signos y señales no tienen que tener un significado en el sentido ordinario (Enc Brit 1993a).

Según la Enciclopedia Británica, la teoría de la información pretende definir las leyes matemáticas que gobiernan los sistemas designados para comunicar o manipular la información. Establece mediciones cuantitativas de la información y de la capacidad de los diversos sistemas para transmitir, almacenar y procesar información (Enc Brit 1993a).

Un aspecto básico de la teoría de la información es que la información puede ser tratada como una cantidad física, tal como la masa o la energía.

La Enciclopedia Británica (1993a) enumera los **elementos centrales de un sistema general de comunicación**, los cuales consisten en:

- a) Una **fente de información**, la cual genera la información “cruda”, señal o mensaje que se debe transmitir”;
- b) un **transmisor**, el cual transforma o codifica la información en una forma adecuada para el canal o modo de transmisión respectivo; este mensaje transformado se denomina señal;
- c) el **canal** en el cual la información codificada, o señal, es transmitida hacia el punto de recepción; La señal puede ser cambiada o alterada. La estática en el radio y la “nieve” en la televisión son conocidos ejemplos de este fenómeno. Tales efectos de distorsión aparecen esquemática-

mente ilustrados en la Figura 1 como la **fente de ruido**;

d) el **receptor**, el cual descodifica la señal transmitida, o sea que la traduce para reconvertirla en el mensaje o señal original;

e) la **destinación**, o receptor destinado o designado, de la información.

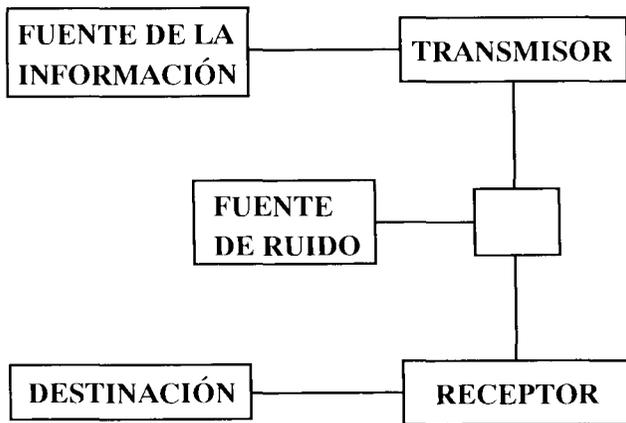


Figura 1. Elementos de un sistema general de información (Enc Brit 1993a).

Pamela McCorduck en el libro *Máquinas que Piensan* describe bien el drástico cambio paradigmático que representó el sustitución del modelo dominante (o sea el conjunto de explicaciones para los fenómenos), la *energía* -el concepto central de la mecánica newtoniana-, por la *información*, principalmente como resultado de la publicación de la seminal obra *Cibernética* por Norbert Wiener en 1948. “Las ideas de la teoría de la información, tales como codificación, almacenamiento, ruido, etc., proporcionaron una explicación mejor para todo un conjunto de eventos, desde el comportamiento de los circuitos electrónicos hasta el de una cédula replicante. Una de las razones es que la vieja mecánica newtoniana se había preocupado de sistemas cerrados, conservativos, mientras que el modelo de la teoría de la información

podía tratar con sistemas abiertos, esto es, sistemas relacionados con el mundo exterior tanto para recibir impresiones como para realizar acciones, y en los que la energía no es sencillamente, la cuestión central”.

La **información**, en términos simples, se refiere a los hechos y opiniones que son provistos y recibidos en el curso de la vida diaria: una persona obtiene información directamente de otros organismos vivos, de los medios de comunicación masiva, de bancos electrónicos de datos y de toda clase de fenómenos observables en el entorno o medio ambiente.

Los seres humanos reciben información por medio de los sentidos: sonidos a través de la audición, imágenes y texto a través de la visión, olores a través del olfato.

Para interpretar las señales que perciben por los sentidos, los humanos han desarrollado y aprendido complejos sistemas de lenguaje consistentes en “alfabetos” de símbolos y de estímulos, con sus correspondientes normas de utilización. Ello los capacita para reconocer los objetos que ven, comprender los mensajes que leen y escuchan, e interpretar los signos que perciben a través de sensaciones táctiles y olfatorias. O sea, que los humanos son receptores de información analógica (Enc Brit 1993b,e).

Como lo describe la Enciclopedia Británica, “los transportadores de la información que proveen los sentidos son fenómenos energéticos: ondas de luz y estímulos químicos y electromagnéticos. En el lenguaje ingenieril, los humanos son receptores de señales analógicas; la información así recibida es denominada **información analógica**. Hasta el desarrollo del computador digital, la información cognoscitiva fue almacenada y procesada en forma exclusivamente analógica, fundamentalmente a través de las tecnologías de la impresión, de la fotografía y de la telefonía.

“Aunque los humanos son muy aptos para procesar la información almacenada en su memoria, la información analógica que se almacena por fuera de la mente no es de fácil procesamiento. Las modernas tecnologías de la información facilitan enormemente la manipulación y manejo de la información almacenada externamente como resultado de su representación en forma de signos digitales, o sea como la presencia o ausencia de energía (electricidad, luz, electromagnetismo).

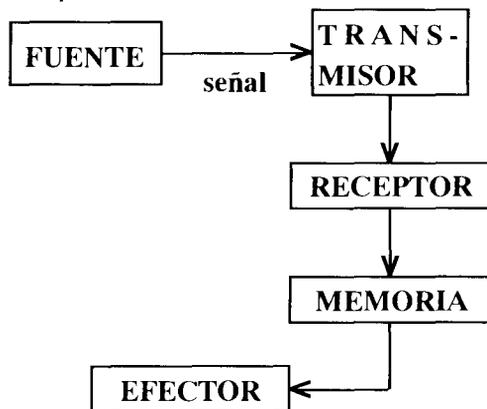
“La información que se representa en forma binaria se conoce como **información digital**. Los modernos sistemas de información se caracterizan por la transformación o conversión entre información analógica y digital”. (Enc Brit 1993b).

Los procesos de información son ejecutados por **procesadores de información**, los cuales son biológicos o físicos y son componentes de los sistemas de información.

Un **sistema de información** posee cinco elementos básicos:

- a) fuente
- b) transmisor
- c) receptor
- d) memoria
- e) efector

Figura 2. Esquema de un sistema de comunicación.



“La versatilidad de los sistemas de información modernos se deriva de su capacidad para representar la información en forma electrónica como señales digitales y de manipularla automáticamente y de manera excesivamente rápida. La información es almacenada en aditamentos o dispositivos binarios, que son los componentes básicos de la tecnología digital. Puesto que tales dispositivos existen solamente en uno de dos estados, la información es representada en ellos bien como ausencia o presencia de energía (pulso electrónico). Los dos estados de los aditamentos binarios son convenientemente designados por los dígitos binarios, o **bits**, el cero (0) y el uno (1).” (Enc Brit 1993b).

La **informática** es la ciencia aplicada (algunos prefieren calificarla como tecnología) del tratamiento automático, o sea computarizado, y racional de la información, considerada ésta como soporte del conocimiento, la documentación y la comunicación.

La información tiene aplicación de enorme valor práctico en bibliotecología. El gigantesco volumen de documentación que se publica periódicamente en revistas representa un serio problema de costo, espacio y acceso para las bibliotecas. Se están desarrollando con rapidez **bibliotecas electrónicas, bibliotecas digitales o virtuales**, en las cuales las revistas son asequibles en texto completo, incluyendo el material gráfico, a través de computadores para busca instantánea y consulta inmediata.

La diferencia principal entre la biblioteca digital y la biblioteca convencional es cómo está representada la información más que en su naturaleza misma. Su característica es la disposición de una base universal de conocimientos, no poseer una ubicación específica y la capacidad de cubrimiento y accesibilidad universales. El gran desafío en la biblioteca digital se origina en la multiplicidad de las fuentes que producen información digital, la cual hace uso de nuevas y muy diferentes técnicas y avenidas de comunicación que se desvían del tradicional proceso de

impresión de 450 años de existencia (Braude et al 1995). Un prototipo, que ha probado su bondad, es el proyecto CORE (Chemistry Online Retrieval Experiment) de la American Chemical Society (Krumenaker 1993).

El computador, junto con toda el resto de la tecnología de la informática, han cambiado el concepto mismo de la **epistemología** (entendida como la doctrina de los fundamentos y métodos del conocimiento) y de la **pedagogía** (entendida como la técnica y el arte de la enseñanza). Específicamente, *en la educación médica la informática viene a ser su nuevo paradigma*.

La Universidad de Yale, y específicamente su Facultad de Medicina, ha jugado papel protagonista pionero en el desarrollo de los computadores y los recursos electrónicos como elementos esenciales en la educación y en el manejo del conocimiento. En la revista *Yale Medicine*, en su edición correspondiente al invierno de 1996 (Vol. 30, No. 2), se discuten la educación digital, los computadores y la Internet en la enseñanza médica. Según el decano Gerard N. Burrow, *“los computadores y la información electrónica son el futuro de la medicina, tanto en lo referente a la educación médica como a la investigación biomédica.”* (Burrow 1996).

LA TEORÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN

En términos sencillos, un *“automatón”* (autómata) representa la formalización de un juego de reglas para computación, y la teoría de la automatización, que se estudia como parte de los fundamentos de las matemáticas, se utiliza en la construcción de máquinas tales como los computadores.

Los componentes de los *“automatons”*, o autómatas, incluyen materiales tales como cables, transistores, distribuidores, etc., y su operación se basa en la mecánica y la electrónica de estos elementos. Se puede describir la *automatización* como una entidad de definición lógicas

que puede ser incorporada en forma de una máquina, con el término automatización designando tanto su estructura física como lógica.

La mayoría de los *“automatons”* están diseñados para responder a condiciones externas o a diversos *inputs*, o señales, exteriores; ejemplos son los termostatos, los pilotos automáticos de los aviones, los sistemas de guías de la aeronáutica, las redes telefónicas y los controles de los ascensores. Pero el paradigma de estos seres es el computador electrónico, cuyos estado interno está determinado por la alimentación de datos y que opera para producir un resultado determinado (Enc Brit 1993c).

EL COMPUTADOR

El computador, según la Enciclopedia Británica (1993), es un aparato que resuelve problemas mediante la aplicación de operaciones a partir de datos que le son alimentados. Weinstein y Keim han definido el computador *“como un técnico altamente capacitado pero incapaz de iniciativa que puede realizar, mediante las instrucciones que se le suministran, una secuencia prácticamente infinita de operaciones diversas a una velocidad vertiginosa”*.

En forma muy simple, un computador es un aparato que contiene un microprocesador, y que es capaz de almacenar, recuperar y procesar información.

Pero el computador es algo más profundo, un instrumento que debe ser contemplado desde una perspectiva metafísica, como la que ha planteado Michael Heim en su obra *La Metafísica de la Realidad Virtual* (1993).

El ser humano siempre ha interrogado al mundo de diferentes maneras, por métodos diversos, cada uno de los cuales revela su propia actitud ante la vía. El método de interrogación se denomina búsqueda, o investigación. Y la manera como se investiga de por sí limita lo que se logra al final de la búsqueda.

Hoy interrogamos -investigamos- el mundo a través de la interfaz del computador, que representa la forma electrónica moderna de manejo de la lógica simbólica, entendiéndose por ello el método matemático de representación del raciocinio exacto con símbolos del razonamiento.

En efecto, el computador evita al hombre la penosa labor de tener que transformar el lenguaje en signos abstractos para conformar un sistema lógico simbólico moderno, por cuanto traduce nuestro alfabeto a dígitos manipulables: los *microswitches* de la unidad central de procesamiento organizan toda la información a través de un circuito basado en lógica simbólica.

Tal lógica, denominada bajo el epónimo de *lógica booliana*, en honor a George Boole (1815-1864), descubridor de la rama de la matemática que se conoce como *lógica simbólica*, constituye la nueva estructura psíquica del texto electrónico que, por los computadores, se ha creado a nuestro alrededor. El uso de la interfaz del computador para la búsqueda mediante la lógica booliana marca un paso gigantesco en la relación de la mente humana con el pensamiento y el lenguaje (Heim 1993).

Con la anterior consideración del computador como un *instrumento de procesamiento intelectual*, describimos a continuación su mecánica.

Al computador hay que proveerle por anticipado tanto la *información* (los datos) como las *instrucciones*, las cuales son almacenadas en su *memoria* para la realización de su trabajo, que es automático. Las instrucciones constituyen el programa.

Existen dos clases de computadores: los analógicos y los digitales. La mayoría de los computadores modernos son digitales, o sea que operan con números, palabras o símbolos expresados como dígitos. En general al hablar hoy de computadores nos referimos a los digitales.

El computador analógico opera mediante la creación de un órgano físico continuo, de tipo mecánico o eléctrico, por la interacción de ciertos elementos. O sea, que emplea una magnitud física, denominada *analogía* o *representación*, para representar una variable. En determinados casos se utiliza este tipo de computador analógico, que en lugar de hacer cálculos realiza una especie de modelo eléctrico del fenómeno que se desea estudiar. El termostato es un ejemplo de computador analógico.

En los computadores digitales la información es manejada con representaciones de números, o sea que el computador maneja *términos simbólicos*. Generalmente los computadores digitales, son de mayor precisión que los analógicos.

El computador digital utiliza circuitos electrónicos -o sea que maneja señales eléctricas- para efectuar cálculos y operaciones de total precisión y a enorme velocidad.

La característica fundamental de un computador es su enorme capacidad para *procesar información*, o sea para transformar los datos que se le suministran en resultados prácticos mediante la ejecución de un *programa* de instrucciones; su potencia y versatilidad se derivan de su portentosa *memoria*, así como de su gran *velocidad* de operación, la cual le permite procesar decenas de millones de instrucciones básicas en un solo segundo (Ruiz de Gopegui 1983).

El computador, la máquina de mayor complejidad jamás construida por el hombre, es un instrumento útil, práctico, poderoso, fascinante y cada día más barato. Su desarrollo tecnológico es muy rápido. Bill Gates, en su popular obra *Camilo al Futuro* (1995), se refiere al desarrollo de los computadores en el breve lapso de unas décadas.

Durante la Segunda Guerra Mundial, un grupo de matemáticos dirigido por J. Presper Eckert y John W. Mauchly,

en la Escuela Moore de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Pensilvania, en Filadelfia, comenzó a desarrollar una máquina electrónica, que marcó el comienzo de la primera generación de computadores modernos, el ENIAC (Electronics Numerical Integrator and Calculator), destinado a acelerar los cálculos para los disparos de artillería. El aparato, un computador electrónico digital, fue completado en 1946. Como lo dice Gates, parecía más una calculadora electrónica que un computador, y utilizaba válvulas, o tubos, de vacío, en vez de secuencias de encendido y apagado, para representar un número binario, a la manera de las calculadoras mecánicas. Su encendido consumía 150.000 vatios, pero apenas almacenadas el equivalente a unos 80 caracteres de información.

Con anterioridad al ENIAC de la Universidad de Pensilvania, se había desarrollado una máquina electrónica de computación, en Betchley Park, al norte de Londres, denominada Colossus, la cual estaba ya en operación en diciembre de 1943. Su propósito también era militar: fue diseñada para descifrar los códigos generados por los aparatos electromecánicos alemanes denominados Enigma y Geheimschreiber (“escritor secreto”). Como el ENIAC, también usaba tubos de vacío.

El EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) sucedió al ENIAC en la Universidad de Pensilvania, y a éste lo sucedió el UNIVAC I (Universal Automatic Computer), construido en 1951 por Eckert y Mauchli. Como todos los computadores de esa generación, el UNIVAC I utilizaba tubos de vacío; fue el primer computador con capacidad de manejar tanto información numérica como alfabética.

La segunda generación de computadores comenzó a aparecer en 1959, cuando se hicieron comercialmente disponibles máquinas que emplean dispositivos semiconductores denominados **transistores**. El transistor había sido inventado 10 años antes, pero requirió tal lapso para llegar a reemplazar al tubo de vacío.

Los computadores de tercera generación, que aparecen comercialmente a finales de 1960 y en 1970, se caracterizan por una creciente miniaturización mediante el uso de **circuitos integrados**. El **circuito integrado** es un dispositivo de estado sólido consistente en centenares de transistores, diodos y *resistors* contenidos en una minúscula chip de silicio (silicón). El advenimiento del circuito integrado permitió la construcción de minicomputadores de tamaño de escritorio, y luego de los computadores portátiles.

Cuando a comienzos de la década de 1960 los transistores vinieron a sustituir a los tubos de vacío, habían ya transcurrido más o menos 10 años desde el descubrimiento en los Laboratorios Bell de que una **oblea** (o **chip**) de **silio** era capaz de realizar la misma función que el tubo de vacío. Los transistores, al igual que los tubos de vacío, actúan como conmutadores eléctricos, pero requieren menos potencia y ocupan mucho menos espacio. En un chip simple se pueden combinar múltiples circuitos de transistores, creando así un **circuito integrado**. “Los chips de computadores que utilizamos hoy son circuitos integrados que contienen el equivalente de millones de transistores insertados en menos de una pulgada cuadrada de silicio”. (Gates 1995).

También cita Bill Gates a Bob Noyce, uno de los fundadores de Intel, quien en 1977 comparó el microprocesador de US\$ 300 con el ENIAC. El minúsculo procesador no sólo era más poderoso, sino que, como decía Noyce, es “20 veces más rápido, tiene una memoria mayor, es miles de veces más fiable, consume la energía de una bombilla en lugar de la de una locomotora, ocupa 1/30.000 veces el volumen de la misma y cuesta 1/10.000 veces lo que ella. Se puede conseguir mediante un pedido efectuado por correo en la tienda local de aficionados”.

Los computadores de los años 1980s se conocen como los de cuarta generación, aunque su diferencia real con

los de tercera generación es difícil de establecer. Su característica fundamental es la **integración de alta escala**, la tecnología que ha ampliado tremendamente la densidad de los circuitos del microprocesador, la memoria y la capacidad de los chips. En tanto que los circuitos de alta integración contienen millares de componentes en un chip de silicón de menos de 5 mm cuadrados, los mayores circuitos integrados contienen cientos de miles de partes en el mismo espacio (Enc Brit, 1993a).

Se presenta ahora la perspectiva del computador de quinta generación, que sería el **computador híbrido biomolecular**, o **computador molecular**, en cual se utiliza una combinación de moléculas orgánicas y semiconductores para lograr un aparato bioelectrónico. R.E. Birge hace una fascinante descripción de esta nueva entidad cibernética:

Una molécula proteica, en este caso de origen bacteriano, la bacteriorodopsina (similar a la rodopsina de la retina del ojo), tiene una estructura que se altera por efecto de la luz, para asumir una de dos formas, representando cada una el 0 y el 1, lo cual la convierte en un sistema binario y, al mismo tiempo, le confiere la capacidad de almacenar datos en forma tridimensional. Los sistemas no biológicos son bidimensionales, por cuanto la memoria está ubicada sobre la memoria de un disco (una fina película de material magnético que es grabado por un haz de láser y borrado por un campo magnético); su capacidad es del orden de 100 millones de bits por cm^2 ; pero las memorias ópticas tridimensionales teóricamente pueden alcanzar densidades de memoria del orden de tres trillones de bits por cm^3 . Los híbridos en que se combinan proteínas y semiconductores proveen memorias tridimensionales del orden de 32 gigabytes de memoria permanente. Por lo demás, el computador híbrido puede ser diseñado para funcionar a la manera de ente de asociación neuronal capaz de aprender y analizar datos e imágenes de manera muy similar a como lo hace el cerebro humano.

La **tecnología híbrida** que combina chips de semiconductores con moléculas biológicas nos transporta de la ciencia ficción a una pronta aplicación comercial. Las pantallas de cristal líquido ya combinan aditamentos semiconductores con moléculas orgánicas para el control de la densidad de la imagen en la pantalla. Tales computadores serán 100 veces más rápidos que los convencionales, y tendrán un tamaño cincuenta veces menor (Birge 1995).

El computador orgánico, el que utiliza moléculas proteicas como elementos computacionales (Bray 1995), que ya es una realidad, se halla en estudio desde hace más de 15 años. En *Discovery* de mayo de 1982, N. Angier describía el nuevo microchip que utiliza moléculas proteicas para transmitir la información a la manera de circuitos integrados, el **biochip**. Porque las moléculas son de mínimo tamaño y están tan íntimamente agrupadas, tienen la capacidad de realizar cálculos en un tiempo que es una millonésima del tiempo que empleaban los mejores chips de esa época (Anger 1982).

El computador molecular, o biomolecular, representa un hito en el desarrollo de la inteligencia artificial y nos aproxima a convertir en realidad los amenazadores robots humanoides de la ciencia ficción. W. Collins se refiere a esta sobrecogedora perspectiva del reemplazo de la raza humana por tales criaturas como el paso siguiente en la evolución cósmica, en un reciente artículo en *The Spectator* de Londres (octubre 8 de 1994).

La fusión de la tecnología de las comunicaciones con el computador significa hoy el más poderoso factor de evolución (Editors 1995). La velocidad de la transmisión de comunicación entre computadores ha avanzado en forma dramática. El advenimiento de la fibra óptica, con una capacidad de transmitir billones de bits por segundo, gradualmente desplaza a las líneas telefónicas convencionales de cobre que posee una capacidad de transmisión de apenas un millón de bits por segundo (Editors 1995).

La fusión del computador y las comunicaciones han producido un gran cambio en la economía: ya en los Estados Unidos se registra un viraje de una economía industrial a una de servicios. De acuerdo con determinados cálculos, hasta tres cuartas partes del producto nacional bruto ahora proviene de servicios (Editors 1995).

Es previsible que el software registre más cambios que ninguno otro paradigma en el paradigma del computador. Un ejemplo lo constituyen los noveles computadores activados por voz, como el programa *Voyce-Type* de IBM. Este programa, que es de un alto grado de perfección, fue recibido para uso en nuestra Oficina de Recursos Educativos (FEPAFEM) en mayo de 1996, y ya comienza a ser comercializado en Colombia y Sur América.

Las tecnologías de multimedia y realidad virtual constituyen un avance de enorme importancia y crearán nuevas maneras de adquirir información en forma interactiva con hondas implicaciones en la educación y la enseñanza. Internet ha creado un ciberespacio sin límites de tiempo, volumen o distancia. Su explosivo crecimiento marca una característica de la era de la informática a fines del siglo XX: la computación en redes (Tesler 1995).

El avance en la tecnología de los computadores en los últimos veinte años es sencillamente espectacular, principalmente gracias al progreso en la fabricación de dispositivos semi-conductores. La capacidad del computador se ha venido doblando, o más, cada dos años durante los últimos 20 años, en tal forma que el computador de 1995 es mil veces más poderoso que uno construido en los años 1970s. Es un verdadero récord, realmente algo sin precedentes en la historia del ingenio humano (Hayes 1995).

La industria de los computadores electrónica de Silicon Valley, California, gusta de compararse con la industria automotriz de Detroit. En un reciente artículo en *American Scientist* (1995), B. Hayes escribe que si la

tecnología automotriz hubiera avanzado al mismo paso que la tecnología de los computadores, hoy estaríamos manejando un modelo V-32 en vez de un V-8, el cual tendría una velocidad máxima de 10.000 millas por hora. Tendríamos un carro económico, con un peso de 30 libras capaz de recorrer mil millas con un galón de gasolina. El precio de tal carro sería de US\$ 50.

Tal comparación ya había sido hecha, en términos similares, por P. Russell en su libro *La Tierra Inteligente*: “Si se hubieran producido avances comparables en los automóviles durante los últimos veinte años, un Rolls Royce costaría ahora dos dólares, tendría un tamaño inferior a dos centímetros, consumiría un litro de gasolina cada varios millones de kilómetros, alcanzaría velocidades de millones de kilómetros por hora, ¡y no necesitaría mantenimiento!”

Russell también se atreve a predecir que a este ritmo de progreso, quizá en la década de los 1990 podamos tener computadores que iguallen al cerebro humano en cualquier actividad intelectual. Este aspecto se discute más adelante, bajo los tópicos *El computador y el cerebro* y la *Inteligencia artificial*.

Y este es, realmente, el avance más importante, y lo expresa muy bien Edward A. Feigenbaum, de la Universidad de Stanford, en su capítulo “*Procesamiento del conocimiento: de servidores de archivo a aservidores de conocimiento*” en la obra de R. Kurzweil, *La Era de las Máquinas Inteligentes*:

“Estamos comenzado a transitar del procesamiento de datos al procesamiento del conocimiento. La herramienta clave de nuestra especialidad es la computadora digital, la máquina más compleja y aun la más general que se haya inventado. Aunque la computadora es una máquina universal de procesamiento de símbolos, sólo la hemos explotado a la fecha, en sus capacidades mundanas de archivar y recuperar datos (servicio de archivo) y para

hacer operaciones aritméticas de alta velocidad. Los investigadores de la inteligencia artificial han estado estudiando técnicas para la representación computadorizada del conocimiento humano y los métodos para la solución de problemas, la formulación de las hipótesis, y el descubrimiento de nuevos conceptos y nuevo conocimiento. Estos investigadores han estado inventando los servidores de conocimiento del futuro”.

Ilya Prigogine, el ruso-belga Premio Nobel de Química en 1977, en su obra *El Nacimiento del Tiempo* (1988, 1993), enuncia la comparación entre la evolución del cerebro vivo y la de los computadores: “se produce un perfeccionamiento evolutivo ...una generación sucede a la otra y permite realizar el mismo tipo de operaciones en tiempos cada vez más breves. Podemos llamarlo un perfeccionamiento cuantitativo”.

LA CIBERNÉTICA

Hacia mediados del siglo XX hacen su aparición nuevas teorías sobre el funcionamiento de la mente humana. Y comienza a desarrollarse la **cibernética** como la ciencia que estudia las comunicaciones y el autocontrol en los sistemas complejos, animales y máquinas, y aun en los sistemas sociales. El término se deriva del vocablo griego *kibernetes* (timonel).

La cibernética tiene que ver con el control y la comunicación en sistemas vivos, en máquinas y en estructuras organizadas. Es la ciencia que mantiene el orden en tales sistemas.

Según L. Ruiz de Gopegui, la cibernética aborda el estudio de los *mecanismos* de la materia animada, especialmente de las características del cuerpo humano y su cerebro. Este autor cita a Ampère, quien en el siglo pasado definía la cibernética como *el arte de gobernar las máquinas*. “Actualmente algunos autores la entienden como *la técnica de hacer más eficaz la acción*, si bien en tér-

minos más precisos se puede decir que *es la ciencia que estudia las comunicaciones y el control -entendido éste como regulación y mando- en las máquinas y los organismos*”.

Fue Norbert Wiener (1894-1864), matemático estadounidense de MIT, quien estableció la cibernética como la ciencia que trata de los factores comunes de control y comunicación en los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones. Su libro *Cybernetics*, publicado en 1948, ha sido traducido al castellano y apareció en este idioma en 1971.

La cibernética trata de la teoría de sistemas tales como el sistema nervioso de los animales, las calculadoras y los computadores electrónicos, los servosistemas para el control automático de máquinas y aparatos y otros sistemas de procesamiento de la información. En consecuencia, se sobrepone a campos tales como la neurofisiología, los computadores, la teoría de la información y la teoría de la automatización, y busca e identifica características comunes a tan diversas disciplinas (Encycl Brit 1965). También resulta apropiado hablar de la cibernética de las organizaciones y sistemas sociales.

El origen de la cibernética está en la investigación sobre técnicas bélicas. Específicamente, se trataba por esa época de diseñar mecanismos para que un proyectil de autopropulsión, o sea un cohete, diera en un blanco móvil. Relata Ruiz de Gopegui que la solución fue diseñar unos circuitos de retroalimentación, de *feedback*, que le permitieran al proyectil cambiar y modular la trayectoria para el cumplimiento de su objetivo. De allí partió el desarrollo de los mecanismos de autorregulación mediante retroalimentación informativa, lo que se conoce como cibernética.

El desarrollo de los mecanismos de retroalimentación, de la cibernética, en conjunto con la Teoría de la Comunica-

ción, ya mencionada como el modelo de cómo ocurre el proceso comunicativo de las telecomunicaciones, y con la Teoría General de los Sistemas, son los factores que impulsaron el enorme avance de las comunicaciones que ha caracterizado la segunda mitad del siglo XX. La culminación de este proceso es la aparición del computador, y con éste el desarrollo de la inteligencia artificial.

El modelo cibernético corresponde igualmente al proceso de comunicación en el organismo vivo, el cual, como toda estructura organizada, contiene *información* dentro de sí mismo. Aquí se entiende la información en su sentido etimológico, como un agente activo.

El concepto de *información* así entendido, permitió una mejor interpretación de la conducta del ser humano, por lo que muy pronto se comenzó a hablar de la *analogía del computador* para explicar los procesos mentales. Pero la analogía se ha debilitado, y hoy se habla más bien de *metáfora* en lugar de la analogía del computador. De todas maneras, la cibernética viene abordando desde hace años el estudio de los mecanismos de la materia animada, de las características y funciones del cuerpo humano y del sistema nervioso (Ruiz de Copegui 1983).

Los avances en biología molecular han venido a dar apoyo al planteamiento de Erwin Schrödinger en sus famosas conferencias dictadas en Dublín en 1943 (Schrödinger 1947, 1986), que en principio los organismos vivos no son complejos sistemas físicos.

En este sentido, los organismos no son diferentes de las máquinas: el todo es la suma de sus partes, las cuales están organizadas en tal forma que una fuente interna de energía puede hacerlas funcionar y mover de acuerdo con un programa interno que determina el propósito de la acción. El control y la regulación de los mecanismos que operan a nivel molecular, y que determinan el desarrollo y el comportamiento, no son sino mecanismos cibernéticos (Enc Brit 1993d).

EL COMPUTADOR Y EL CEREBRO

En 1956 tuve la fortuna, cuando adelantaba mi adiestramiento de postgrado en cirugía, de asistir a las famosas *Silliman Lectures* de la Universidad de Yale dictadas por le gran matemático húngaro del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, John von Newmann, quien para esa época estaba ya confinado a una silla de ruedas por su enfermedad neoplásica. El libro, *The Computer and the Brain* (Yale University Press, 1958), publicado poco después de su muerte, es una verdadera joya bibliográfica que reposa en mi biblioteca personal.

Von Newmann, quien fue uno de los científicos del Manhattan Project, trabajó en el Electronic Computer Project, y con la colaboración de un renombrado grupo de investigadores, construyó en Princeton un calculador electrónico experimental, el JONIAc, el cual se convirtió luego en modelo para el desarrollo de las calculadoras modernas. Por su interés en la analogía entre los computadores y el cerebro humano, el diseño se hizo imitando las operaciones del cerebro; von Newmann vino a ser reconocido como un experto en ciencias neurológicas.

El famoso libro que reúne sus Conferencias Silliman de 1956 en Yale, *The Computer and the Brain*, está dividido en dos partes: en la primera discute los principios del diseño de los computadores analógicos y digitales, y en la segunda compara el funcionamiento del cerebro humano con la operación de un computador. “Los sistemas de células nerviosas, que se estimulan las unas a las otras en diversas formas cíclicas, también constituyen memorias. Estas serían memorias hechas de elementos activos (células nerviosas). En la tecnología de nuestras máquinas computadoras tales memorias se hallan en uso frecuente y significativo; en realidad, fueron las primeras en ser introducidas”.

Su conclusión es que el cerebro opera en parte digitalmente, en arte analógicamente, pero que utiliza

un lenguaje estadístico peculiar en nada similar a la operación de los computadores mecánicos. Esta es la contribución seminal que abrió el camino para el trabajo ulterior sobre el automatismo del cerebro humano y el de las máquinas inteligentes construidas por el hombre, y con este aporte se estimuló la investigación comparativa sobre la cibernética del sistema nervioso y la de los computadores.

L. Ruiz de Gopegui en su obra *Cibernética de lo Humano* se refiere al cerebro como un gigantesco computador biológico y a la inteligencia como el programa que le gobierna. A su vez, considera las funciones más delicadas de la personalidad, tales como inteligencia, consciencia, voluntad, etc., como mecanismos cibernéticos y pasa a analizar las correlaciones entre la materia inanimada, la vida y la mente, que son las piedras angulares sobre las cuales descansa toda la evolución cósmica.

Mucho se ha debatido el interrogante, ¿pueden pensar los computadores? Weinstein y Keim dicen: “Cuando una bomba se utiliza como corazón artificial, no se considera un corazón; con todo, es sangre en circulación. Un computador no se considera un cerebro, pero cuando ejecuta las funciones del cerebro en lo que se refiere a organización de datos, retención de éstos en la memoria y solución de problemas, ¿no es razonable decir que está pensando?”

Lo anterior fue expresado en su conocido libro, *Principios Básicos de los Computadores*, aparecido hace casi 30 años. Ahora, con computadores enormemente más sofisticados y con capacidad cada vez mayor de ejecutar las funciones del cerebro humano, la pregunta se hace más pertinente y se la transporta al terreno de la *inteligencia artificial*.

El gran físico matemático de Oxford, Roger Penrose, en su monumental obra *La Nueva Mente del Empera-*

dor asume una posición socrático-platónica afirmando que ni la mecánica clásica ni la cuántica podrán explicar nunca la forma en que *pensamos*, y plantea que la inteligencia es subsidiaria de la consciencia, o sea que es inconcebible que la verdadera inteligencia pueda estar presente a menos que esté acompañada de consciencia. Penrose sugiere que mientras que las acciones inconscientes del cerebro pueden proceder según un modelo algorítmico, la acción de la consciencia es bien diferente y no puede ser descrita mediante tal modelo. Se opone a la idea de que la actividad mental consiste meramente en llevar a cabo una secuencia bien definida de operaciones, lo que se denomina algoritmo, y afirma que parece haber algo *no-algorítmico* en nuestro pensamiento consciente y que la consciencia es una formación de juicios no-algorítmica; “la formación de juicios es la impronta de la consciencia, es ella misma, algo sobre lo que la gente de inteligencia artificial no tendrá ninguna idea de cómo programar en un ordenador”. Penrose se manifiesta en esta obra como el gran opositor de la idea de que la inteligencia humana pueda ser simulada adecuadamente mediante algoritmos, es decir mediante un computador, en el sentido que hoy utilizamos el término.

En su última obra, aparecida en 1994, *Shadows of the Mind. A Search for the Missing Science of Consciousness*, Penrose plantea nuevos argumentos para apoyar su posición expresada en el libro anterior, ahora con base en la idea de que los efectos de la gravitación cuántica son mediados por microtúbulos de la estructura proteica del esqueleto de las neuronas. Tales microtúbulos son tan pequeños que los fenómenos cuánticos pueden afectar su funcionamiento, pero no lo suficientemente grandes para que afecten la función global de las neuronas.

La idea de procesos cuánticos no computables que colapsan en los microtúbulos, aunque provocativa, no es convincente (Chalmers 1995). Sin embargo, Penrose

sigue siendo el campeón de quienes piensan que hay funciones cerebrales que nunca habrá de lograr la inteligencia artificial.

Tal vez la manera mejor de abordar el interrogante de si un computador puede pensar es haciendo la comparación entre **información** y **conocimiento**, por una parte, y entre **sensopercepción** y **pensamiento**, por otra, para analizar la capacidad relativa de operación del cerebro versus las del computador.

INFORMACIÓN VERSUS CONOCIMIENTO

R. Kurzweil cita a E.A. Feigenbaum y P. McCorduck en su obra *The Fifth Generation*: “El conocimiento no es lo mismo que la información. El conocimiento es información que ha sido seccionada, preparada, interpretada, seleccionada y transformada”.

Kurzweil también se refiere a la naturaleza del conocimiento: “Los hechos aislados no constituyen el conocimiento. Para que la información se convierta en conocimiento, debe incluir las relaciones entre las ideas. Y para que el conocimiento sea útil, las relaciones que describen cómo interactúan los conceptos, deben ser fácilmente accesados, actualizados y manipulados. La inteligencia humana es notable en llevar a cabo estas tareas. Sin embargo, es casi más notoria su debilidad en el almacenamiento confiable de la información en la cual está basado su conocimiento. La fuerza natural de las computadoras es exactamente lo opuesto a esto. Por lo tanto se convierten en poderosas aliadas del intelecto humano por su habilidad para almacenar confiablemente y recobrar rápidamente una vasta cantidad de información, aunque, por otro lado, han sido lentas en manejar el conocimiento. “Me parece que esta es una excelente definición.

Dice el educador colombiano R. Flórez Ochoa en su libro *Hacia un pedagogía del Conocimiento* (1940). “El

bombardeo de información y la explosión tecnológica van dificultando y cerrado el espacio para la reflexión autoconsciente y la toma de decisiones libres...parece natural que el conocimiento al fin de cuentas esté al servicio de la vida, del elevamiento de la calidad de vida, proporcionándole a la gente un nivel de supervivencia más estable y seguro, más agradable y cómodo, más humano para el individuo y para el colectivo social. En esta perspectiva, el conocimiento es más acción que especulación, y su verdad se mide con las consecuencias útiles que trae el mejoramiento y la transformación progresiva de la realidad, en la resolución de las necesidades y problemas del individuo o del colectivo social...La teoría del conocimiento convencional es una temática meramente filosófica”.

En cuanto a la capacidad relativa del cerebro y del computador, Kurzweil aporta datos aclaratorios: el cerebro humano utiliza un inmenso circuito conformado por cerca de 100.000 millones de neuronas (una cifra similar al número de astro en nuestra galaxia), cada una con alrededor de 1.000 conexiones con otras neuronas, lo cual significa cerca de 100 billones de conexiones, cada una capaz de una computación. Tal computación, sin embargo es relativamente lenta: el cerebro toma cerca de cinco milésimas de segundo para realizar una computación análoga, o sea, que es 10.000 veces más lento que un computador digital.

Sin embargo, el cerebro aventaja enormemente al computador en el grado de paralelismo. Si el 1% de las neuronas del cerebro está activo, dice Kurzweil, se puede producir un billón de computaciones en cinco milésimas de segundo, o cerca de 200 billones de computaciones por segundo. Para tareas como la visión, el lenguaje y el control motriz, el cerebro es más poderoso que 1.000 supercomputadores, y para tareas simple como multiplicar números digitales es menos poderoso que el microprocesador de 4 bits que se encuentra en una calculadora de 10 dólares.

El conocimiento está determinado por la capacidad para reconocer patrones, y ésta se amplifica por la habilidad del cerebro de saltar de un concepto a otra vía, gracias a los enlaces cruzados, al paralelismo del cual aun están lejos los computadores.

En cuanto a la enseñanza médica cabe preguntar qué cantidad de conocimiento es capaz de almacenar el médico.

Aquí también Kurzweil hace observaciones de gran pertinencia: “Está estimado que el cerebro humano contiene cerca de 100 mil millones de neuronas. Ahora sabemos que cada neurona, individualmente, es almacenamiento de información está en la fuerza de cada conexión sináptica. Una neurona puede tener miles de conexiones, cada una con un almacenamiento potencial de un número análogo. También se ha especulado que ciertos recuerdos importantes son codificados químicamente en los cuerpos de las células de las neuronas. Si estimamos la capacidad de una neurona en cerca de 1.000 bits (y probablemente esta es una estimación muy conservadora), esto da al cerebro la capacidad de 100 billones (10^{14}). Una computadora típica basada en una red semántica requiere sólo de unos pocos miles de bits para representar un concepto. Sin embargo, por la redundancia, nuestras redes humanas necesitan una cantidad mucho mayor de almacenamiento. Si, como una supuesta aproximación, asumimos un factor promedio de redundancia de varias decenas de miles, esto nos da cerca de 100 millones de bits por concepto, de tal suerte que la capacidad del cerebro humano sería de un millón de conceptos. Se ha calculado que un “maestro” en un campo particular del conocimiento (ajedrez, medicina, etc.) ha dominado cerca de 50.000 conceptos, lo que es cerca del cinco por ciento de la capital total, de acuerdo con la estimación hecha arriba”.

“Sin embargo, la inteligencia humana no está en función del número de conceptos que podamos analizar, sino más

bien en la coherencia a nuestros conceptos, en la habilidad para crear conceptos significativos a partir de la información a la que estamos expuestos, en la capacidad de tratar con niveles de abstracción, en nuestra habilidad para aplicar conceptos a formas que van más allá de la información que los origina”.

“Es claro que el cerebro humano no es lo suficientemente rápido para realizar búsquedas prolongadas en el conjunto de implicaciones que pueden derivarse de la bases de sus conocimientos, particularmente en tareas secuenciales. Con las neuronas y sus conexiones el cerebro es capaz de almacenar una vasta cantidad de conocimiento altamente organizado y acceder este conocimiento en paralelo. Así una estrategia típica del cerebro humano es acceder su memoria de situaciones previamente analizadas, ya que no es capaz de realizar una introspección de análisis sobre un problema, en tiempo real. La estrategia es muy diferente para las computadoras que usan la arquitectura serial convencional (esto es, no paralela). Hay velocidad secuencial suficiente para realizar búsquedas recurrentes extensivas de un problema en un lapso de tiempo, pero al mismo tiempo su conocimiento es insuficiente acerca de un dominio particular como para depender totalmente de las situaciones previamente analizadas” (Kurzweil 1994).

SENSOPERCEPCIÓN VERSUS PENSAMIENTO

El planteamiento de Roger Penrose sobre la inteligencia como acción subsidiaria de la consciencia, coincide con la doctrina de Platón, quien admite que los órganos sensoriales son los instrumentos del conocimiento, pero distingue entre *sensación* y *conocimiento*, entre *sensopercepción* y *pensamiento*, y enseña que el conocimiento es el resultado de la acción de este último sobre el primero.

Según Platón, el hombre posee actividades psíquicas, como la memoria, la capacidad de predecir, la imagina-

ción, y, naturalmente, las funciones superiores de la mente, que son menos dependientes del estímulo sensorial que la percepción de la información que transmiten los órganos de los sentidos o de actuar como almacén de sus datos. La distinción entre *mente* y materia es el eje alrededor del cual gira la filosofía de Platón (Farrington 1992).

Sócrates se levantó contra el materialismo de la ciencia física de su tiempo y afirmó que el alma del hombre es un principio activo, rechazando las explicaciones de su actividad mediante interacción física de partículas materiales. Las matemáticas, la ética y la teología para Sócrates estuvieron inseparablemente unidas como ciencias *a priori*, independientes de la experiencia (Farrington 1992).

Aplicando los principios de la cibernética, cabe citar a Platón: “No vemos con los ojos, sino a través de ellos. No oímos con los oídos, sino a través de ellos. Tampoco puede ningún sentido por sí mismo distinguir entre su propia actividad y la de otro sentido. Debe haber algo conectado con ambos -llamémosle alma como se quiera-, con lo que verdaderamente percibimos todo lo que nos llega a través de las facultades sensoriales. Es el alma o *psyché* la que nos hace conscientes de lo que percibimos y la que distingue los datos de un órgano de los sentidos que los de otro”. Como lo dice Farrington, en forma resumida, éste es el razonamiento mediante el cual Platón levanta los pilares de una nueva ciencia, la psicología, o ciencia del alma.

Esto es lo que no se cree que llegue a ser reproducible en la inteligencia artificial, y ciertamente no con el enfoque tradicional fundamentado en transistores y semiconductores. Pero como veremos más adelante, ahora la inteligencia artificial se basa en la naturaleza, y las máquinas híbridas que incorporan elementos orgánicos nos permiten una visión diferente a la de Roger Penrose, quien publicó la primera edición de su libro

(*The Emperor's New Mind*) en Oxford en 1989 y su segunda obra sobre el tema (*Shadows of the Mind. A Search for the Missing Science of Consciousness*) en 1994.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Dos grandes hitos se registran en la ciencia del siglo XX: la culminación del Proyecto Manhattan y el descubrimiento de la estructura molecular del DNA (ADN, ácido desoxirribonucleico). El primero representa el paradigma de la química y la física; el segundo el paradigma de la biología.

D.H. Freedman en su fascinante obra *Los Hacedores de Cerebros* (1994) se refiere a la arrogante atmósfera intelectual que reinaba en la década de 1950 provocada por el triunfo de las ciencias “duras”, las ciencias rigurosas -la química y la física- y sus exitosas aplicaciones que culminaron en el Proyecto Manhattan. Parecía por entonces que la biología se quedaba empantanada entre misterios y complejidades.

En tal ambiente del triunfo de la física, la química y las matemáticas, nació la nueva ciencia de la *inteligencia artificial*. El punto de partida de la IA generalmente se lo asocia con una pequeña conferencia celebrada en Dartmouth College con el auspicio de la Fundación Rockefeller, *The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, en el verano de 1956 (McCorduck 1991), propuesta por John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon y Nathaniel Rochester. Participaron diez personajes importantes, provenientes de diversas disciplinas, en el reparto de este drama llamado inteligencia Artificial (McCorduck 1991). Minsky, McCarthy y Edward Feigenbaum anunciaron confiadamente el advenimiento de la era de las máquinas que piensan, y pronosticaron su rápido desarrollo, en no más de 20 años. Hoy reconocemos tal predicción cronológica como algo ingenuo (Freedman 1994).

Pero en 1953 James D. Watson y Francis H.C. Crick con su trascendental descubrimiento de la estructura de la molécula del DNA en los Laboratorios Cavendish de Cambridge, abrieron el esplendoroso campo de la nueva biología, el de la *biología molecular*. En 1962 se otorgó el Premio Nobel en Medicina y Fisiología a Crick, Watson y Maurice H.F. Wilkins, en reconocimiento al más significativo logro desde Mendel. Y con ello “se disparó” el avance de la biología.

¿Qué se entiende por IA? ¿Cómo se la define? Maureen Caudill en su libro *In Our Own Image* (Oxford University Press, 1992) ofrece algunas definiciones adecuadas: “La IA puede ser definida como el esfuerzo por reproducir el comportamiento del ser humano a través de procesos (aquí se podría añadir de *inferencia*) secuenciales sucesivos. La IA busca maneras de hacer a los computadores más inteligentes en su comportamiento aprovechando su capacidad deliberada y secuencial de ejecución de procesos a fin de simular el proceso secuencial del razonamiento lógico”.

Caudill expresa que “definir la IA es difícil, por cuanto son muchas las aplicaciones que cubre la sombrilla de la IA. Sin embargo, una manera de describir la IA es a través de los problemas que intente resolver. Existen dos categorías de problemas en lo referente a IA: asuntos fundamentales y aplicaciones finales”.

La lista de aplicaciones de la IA incluye asuntos tales como robótica, comprensión del lenguaje natural (comprensión del significado más allá del idioma coloquial), comprensión correcta del idioma (comprensión correcta de los sonidos como una secuencia de palabras y frases), visión, aprendizaje mecánico, planeación de la resolución de problemas generales y una variedad de asuntos similares (Caudill 1992).

Una dificultad principal para el rápido desarrollo de la IA es poder representar el conocimiento de manera ade-

cuada en un programa inteligente. En efecto, el computador tiene una capacidad inmensa de almacenar datos, pero sólo puede accederlos si se le indica con exactitud dónde se encuentran. Otro aspecto fundamental es el del uso de la lógica para resolver un problema. También Caudill se refiere a ello: casi todos los sistemas implementan una forma de lógica llamada lógica del predicamento, la cual expresa hechos pertinentes a sujetos como predicamentos en una frase. “Todos los hombres son mortales” es un ejemplo, en el cual “son mortales” es un predicamento de “todos los hombres”. Se ha desarrollado un programa especial de lenguaje denominado Prolog (de *programming logic*) que representa los programas de computador como una serie de predicamentos y que sigue las reglas de la lógica para resolver tales predicamentos durante la ejecución del programa.

El cerebro humano no es realmente un computador, porque en realidad no “computa” y tampoco sigue instrucciones secuenciales de ejecución, sino que es un mecanismo cibernético complejo que responde a estímulos externos o internos, físicos o abstractos, en forma integral e inteligente. El computador digital, por el contrario es una máquina que ejecuta funciones definidas y limitadas mediante el uso de dos componentes principales: la memoria y la unidad central de procesamiento (CPU). Ahora se realiza un esfuerzo por crear **redes neuronales**, que son mímica de la estructura del cerebro, y específicamente de la corteza cerebral (Tank & Hopfield 1987). Ya comienzan a tener aplicación práctica en el trabajo médico (Kattan & Beck 1995).

Tal vez la definición más práctica que enuncia Caudill es una muy simple: “IA es el esfuerzo por convertir en inteligencia el comportamiento de los computadores, particularmente frente las situaciones del mundo real”. El libro de Caudill es una excelente revisión sobre la construcción de una persona artificial, y a él me refiero más adelante.

Difíciles fueron los comienzos de la inteligencia artificial. La IA convencional de los primeros decenios se fundamentó en la tecnología de semiconductores, los principios de la psicología cognoscitiva y el desarrollo de la informática. Y lento fue su avance, hasta el punto de aparecer como encallada.

Pero ahora se registra un nuevo movimiento, derivado en gran parte del progreso de la biología molecular, el de la *IA basada en la naturaleza*. Esto significa un abordaje de la IA siguiendo los mismos caminos de la naturaleza, o sea un enfoque cibernético biológico.

La IA basada en la naturaleza utiliza el lenguaje y los mecanismos biológicos de control y mando de los fenómenos cerebrales, y se fundamenta en la biología molecular, la neurociencia y los sistemas adaptables complejos.

En cuanto a máquinas que “sepan”, o sea que almacenen enormes volúmenes de información y que la analicen, a la manera del cerebro humano en su función de inteligencia, es mucho lo que se ha avanzado en lo relativo a capacidad de memoria. Desde un punto de vista de informática práctica, se debe reconocer como algo trascendental el desarrollo del *Cic* (como en enciclopedia), un computador equipado con todo el conocimiento general y el sentido común de un adulto ordinario. Freedman se refiere al *Cic* y comenta que su creador, Doug Lenat, de Stanford y ahora de la Microelectronics and Computer Technology Corporation de Austin, Texas, creada por Xerox, Kodak, Apple y Digital, entre otros, “predice que cuando *Cic* inunde las bibliotecas devorando libros para ampliar su base de datos, éstos en parte se almacenarán en computadores de todo el mundo, y estarán al alcance de todos a través de líneas telefónicas y ondas radiales. Su inteligencia fluirá como electricidad por una gigantesca y ubicua red de conocimiento”.

El nuevo enfoque de la *IA basada en la naturaleza*, establece que para comprender cómo funciona algo en el ser

humano se trate de comprenderlo primero en un animal más simple, cuya inteligencia es fundamentalmente de reflejos y no de razonamiento.

Freedman cita a Stewart Wilson, del Instituto Roland, vecino de MIT, quien decidió duplicar la inteligencia animal y creó criaturas artificiales, que denominó “*animats*”. Pronto Rodney Brooks, también citado por Freedman, comenzó a pensar en los insectos, que poseen una inteligencia *navegacional* destinada a “esquivar cosas”, cuya visión les indica “donde no están las cosas”. La notable ventaja de esta arquitectura diseñada por Brooks es que evita el razonamiento abstracto y la cartografía propios de los programas de navegación robótica. Brooks “adopta un enfoque exactamente opuesto al que ha impulsado la IA por 40 años: quiere que sus sistemas sepan menos, que estén libres de hasta los rudimentos del razonamiento; en su esquema el reflejo lo es todo, el conocimiento y la planificación son distractores”. (Freedman 1994).

Esta es la denominada *arquitectura de subunción*, que basa la acción en la información sensorial, la cual posee la ventaja adicional de requerir muy poca energía para su operación.

El prototipo del grupo de Brooks es el conocido *Atila*, el insecto robótico con este tipo de arquitectura. Los descendientes de *Atila* son los *robots mosquitos*, de promisorio uso en medicina. En efecto, gracias a la miniaturización de los chips de silicio, se está logrando construir estos mecanismos semiinteligentes de 1 mm de ancho, tallados en un pedacito de silicio - cerebro, motor y todo-, los cuales tendrán un costo de apenas unos centavos. Providos de minúsculos escalpelo y aditamentos similares, los robots mosquitos podrán circular por el ojo, por la circulación coronaria o cerebral, y realizar cirugía endovascular de carácter terapéutico.

La conjunción de la biología molecular y de la tecnolo-

gía de los microprocesadores de silicio ya permite la creación de computadores orgánicos, con memoria basada en moléculas proteicas, los cuales tendrán una capacidad gigantesca y un tamaño 50 veces menor que los computadores convencionales que emplean chips de silicio.

Al contemplar la IA en esta perspectiva de casi infinita miniaturización, hasta llegar al tamaño de moléculas y átomos, se vislumbra un panorama sobrecogedor: mientras la biología se ve limitada por el conocimiento actual y las leyes de la vida, la nanotecnología aparece libre de límites y, consecuentemente, con un mayor y más rápido potencial de desarrollo. ¿Progresará más la IA que la inteligencia humana en el próximo milenio, y será la IA el siguiente eslabón en el desarrollo cósmico?

P. Russell en su libro *La Tierra Inteligente* coincide con Collins y otros, al afirmar que sólo falta un pequeño paso para llegar a las MUI (Máquinas Ultra Inteligentes), las cuales podrán funcionar tan bien, o mejor, que un cerebro humano en cualquier campo relacionado con el procesamiento de la información.

¿El incremento exponencial de la inteligencia artificial es tal, y los computadores han llegado a ser tan inteligentes que pueden tomar el lugar de la humanidad para convertirse en los guardianes de la evolución, quedando la humanidad obsoleta? Collins (1994) asegura que tales máquinas inteligentes podrían representar un verdadero peligro para la supervivencia misma de la humanidad, y como Chaisson en su *Cosmic Dawn*, se pregunta si la inteligencia artificial podría ser la nueva etapa en la evolución cósmica.

LA INTELIGENCIA MÉDICA

Los párrafos anteriores son perfectamente aplicables a lo que debe ser la definición y la estructuración una “inteligencia médica”. Aparece evidente que para el médico el computador se convierte en un instrumento de am-

plificación intelectual por excelencia, al permitir disponer de una memoria anexa, de inmediato y fácil acceso, que es la **información**. Información biológica, información epidemiológica, información socioeconómica, etc. El médico la debe procesar, intelectual o mecánicamente, para convertir en **conocimiento**, y mediante el proceso de integración lógica de los conceptos, convertir tal conocimiento en **inteligencia médica**.

En la década de 1970 se desarrollaron **sistemas expertos** para aplicación en medicina, tal como el popular MYCIN para la selección de antibióticos. El análisis de los resultados de la “toma de decisiones” de MYCIN en casos de enfermedades infecciosas revelaron que MYCIN lo hacía tan bien o mejor que un médico especialista, tanto en lo referente al diagnóstico como a la escogencia del régimen terapéutico (Buchanan & Shortliffe 1984; Y et al 1979).

Otro muy conocido fue CADUCEUS, desarrollado en la Universidad de Pittsburgh, que pretendía simular el trabajo diagnóstico de un internista. En un amplio rango de categorías de diagnóstico, CADUCEUS fue, en su momento, más exacto que los médicos humanos (Kurzweil 1994).

Como los anteriores, son ya muchos los sistemas expertos desarrollados y en pleno uso médico.

Los sistemas expertos aplicados a la medicina han sido muy influyentes para el pensamiento actual sobre inteligencia artificial (Kurzweil 1994).

CAOS Y COMPLEJIDAD

Los investigadores dedicados al estudio de la *Complejidad* (Lewin 1992), una nueva ciencia, que es diferente de *Caos* (Gleick 1987), entre ellos el grupo del Santa Fe Institute (New Mexico, USA), los llamados “complejólogos”, pueden estar en desacuerdo sobre lo

que están estudiando, pero concuerdan en cómo lo hacen: mediante computadores.

Así se expresa John Horgan, escritor senior de *Scientific American*, en un reciente y ameno artículo titulado “De la Complejidad a la Perplejidad” (Horgan 1995). En este artículo, el autor toca el tema de la vida artificial, al plantear que la fe en los computadores es epitetomizada por la vida artificial, un campo derivado de la *complejidad*, algo que ha llamado, de por sí mismo, una gran atención.

El computador es el microscopio de quienes se adentran en estas nuevas “ciencias” que tratan de la dinámica de los sistemas no lineares. Los sistemas lineares obedecen a la física gravitacional y cuántica, y son entencramente predecibles. Los no lineares, como el clima, por ejemplo, son impredecibles. Así lo son también los ecosistemas, las entidades económicas, los embriones en desarrollo y, sobre todo, el cerebro. Todos son ejemplos de una complejidad dinámica que desafía el análisis matemático y la simulación (Lewin 1992).

A través del computador, los investigadores de Complejidad y de Caos escudriñan el mundo, tanto el real como el abstracto, mientras Caos y Complejidad dan vueltas, uno alrededor del otro, tratando de establecer si son la misma o diferente cosa.

¿Qué es esta pretendida y controvertida ciencia emergente, la *complejidad*? La teoría de la complejidad plantea que en la raíz de la totalidad de los sistemas complejos, desde el comportamiento de las moléculas hasta la acción de las naciones y los estados y el equilibrio de la naturaleza, se encuentra un cuerpo de reglas que cuando puedan ser identificadas darán lugar a la gran unificación de las ciencias naturales (Lewin 1992, Otero Ruiz, 1988).

Caos, igualmente una novel y controvertida ciencia, ofrece una perspectiva de orden y de patrones donde

previamente se observaba sólo lo aleatorio, lo errático y lo impredecible, es decir lo caótico. La teoría Caos ha creado técnicas especiales para el uso de los computadores y formas especiales de graficar imágenes, imágenes que capturan una fantástica estructura subyacente a la Complejidad. Para algunos físicos Caos es una ciencia de *proceso*, más que de *estado*; de *transformación*, más que de *existencia*. Caos está expresado en el comportamiento del clima, en el de un avión en pleno vuelo, en el de los automóviles que se concentran en una autopista, en el del petróleo que fluye por los oleoductos.

Caos trata de la universalidad de la complejidad. Los creyentes en la teoría especulan sobre el determinado y el libre albedrío, sobre la evolución, sobre la naturaleza de la inteligencia consciente. Ellos consideran que están revirtiendo una tendencia de la ciencia hacia el reduccionismo, hacia el análisis de los sistemas en términos de sus partes constitutivas: quarks, cromosomas, neuronas. Ellos creen que enfocan más bien el *todo* (Gleick 1987).

¿Qué tanto avanzado en su aceptación estas dos teorías? Para algunos ya han fallado y apenas exhiben modestos descubrimientos. Pero porque son investigadas y analizadas en el computador, se mantienen vivas y todavía vigentes en el ciberespacio.

LA VIDA ARTIFICIAL

Según John Horgan (1995), la vida artificial es la heredera de la inteligencia artificial (IA), la cual la ha precedido por varios decenios. Como en el caso de la IA, o del Caos y la Complejidad, la vida artificial es también epítome de la dependencia y la fe en los computadores como instrumento de investigación.

Pero mientras los investigadores de la IA tratan de entender la mente mediante simulaciones de computador,

los proponentes de la vida artificial esperan profundizar sobre una más amplia gama de fenómenos biológicos.

Horgan transcribe una cita que expresa que la vida artificial nos enseña mucho sobre la biología -mucho de lo que no habríamos aprendido mediante el estudio de los procesos naturales de la biología solamente-, pero la vida artificial en última instancia llegará a confines más allá de la biología, para ingresar a un reino para el cual aún no tenemos denominación, pero que habrá de incluir la cultura y nuestra tecnología en una visión ampliada de la naturaleza.

Según la misma cita de Horgan, *la vida puede ya “existir” en el computador*. Si un programa crea un mundo de “moléculas” que, siguiendo las mismas reglas de la química, se organicen en forma espontánea en entidades capaces de alimentarse, reproducirse y evolucionar, se podría aceptar que tales entidades están vivas, así sea en el interior de un computador.

El interés en la vida artificial se puede trazar a los dioses de la antigua Grecia. En *Máquinas que piensan* su autora, Pamela McCorduck se refiere a Hefesto (Vulcano), hijo de Zeus (Júpiter) y Hera (Juno), el dios del fuego y el herrero divino, quien cojo, deforme y de extrema fealdad, se valía de bellas asistentes autómatas.

En efecto, en el Canto XVIII, *Fabricación de las armas*, Homero relata como Hefesto, cuya presencia fue reclamada ante la diosa Tetis, la madre de Aquileo, quien era hija de Nereo y esposa de Peleo, el rey de Ftía, padre de Aquileo, llamado el *Peliada* en el poema homérico. En el canto se relata como Hefesto “*salió cojeando, apoyado en dos estatuas de oro que eran semejantes a vivientes jóvenes, pues tenían inteligencia, voz y fuerza, y hallábanse ejercitadas en las obras propias de los inmortales dioses. Ambas sostenían cuidadosamente a su señor, y éste, andando, se sentó en un trono reluciente cerca de Tetis...*” (Homero, *iliada*, 1974).

Homero, antes que nadie, presenta los autómatas, que serían los robots de hoy, como las asistentes del minusválido y feo Hefesto.

De las fraguas de Hefesto, en la isla de Lemnos la principal, y en el Etna en Sicilia, ésta trabajada por los Cíclopes, además del carro y la égida de Zeus, el cetro de Agamenón, la coraza áurea de Hércules, la armadura y el esplendente escudo de Aquiles y la flechas de Apolo y de Diana, nacieron muchos otros autómatas, entre ellos unas butacas de tres patas que se desplazaban por sí solas sobre ruedas sirviendo a los dioses en las Asambleas del Olimpo (Falcón 1992; Genest 1961).

Talos, un autómata de bronce, fabricado por Hefesto o por Dédalo, era el guardián de Creta. Recorría la isla tres veces al día y la defendía de intrusos, a los que arrojaba piedras enormes; en ocasiones ponía incandescente su cuerpo introduciéndose en una gran hoguera y abrazando luego a los que capturaba (Falcón 1992).

McCorduck cita otros famosos autómatas de la antigüedad como ejemplos del interés que siempre ha existido en crear personas artificiales que puedan realizar labores propias del ser humano. Son los robots, a los cuales se hace referencia previa en este artículo, y los androides o humanoides de la ciencia ficción y del cine contemporáneo. Pero también se refiere a la creación de vida, como lo intentaba el pintoresco y controvertido Paracelso (1493-1541), el alquimista y médico de Ginebra, quien afirmaba que había creado un homúnculo, un hombrecillo, según una receta a partir de esperma humano: “*Si el esperma, dentro de un vaso herméticamente cerrado, se entierra en estiércol de caballo durante unos cuarenta días y se magnetiza adecuadamente, empieza a vivir y moverse. Después de este período, adquiere la forma y la apariencia de un ser humano, pero será transparente y sin cuerpo. Si en este momento se lo alimenta artificialmente con el arcano de la sangre humana hasta que tenga unas cuarenta semanas, vivirá*”. Y no sólo

vivirá, sino que tendrá inteligencia, por lo cual Paracelso ofrece instrucciones sobre cómo educarlo, y añade: “*Seremos como dioses. Duplicaremos el mayor milagro de la creación: la creación del hombre*”. (McCorduck 1991; Rosen 1959).

En la revisión de la creación novelesca de vida humana, no se puede dejar de mencionar, por supuesto, al viejo *Frankenstein* (1818) de la novela de Mary Shelley y de películas recientes.

Las personas artificiales se han hecho populares en el cine moderno. En películas tales como *Star Wars*, *Star Trek*, *Sleeper*, *Terminator* *Robocop*, y otras, aparecen autómatas, robots androides.

Por ahora los robots se hallan limitados a la industria, pero es previsible, según Caudill, que para el año 2.000 toda persona habrá de tener cotidianamente algún tipo de interacción con un robot.

El gran desafío en la creación de androides no es tanto lo pertinente a la estructura física. El desafío es la construcción de una inteligencia que lo convierta en algo útil. El androide del futuro deberá tener sentido común y personalidad. El gran avance de la tecnología de los computadores y de las redes neuronales lleva a pensar que tal androide es tal vez una próxima realidad.

El advenimiento de androides inteligentes en la sociedad humana no se perfila como un proceso fácil. Son muchas las implicaciones de orden ético, económico y social que se pueden prever, y a ellas se refiere M. Caudill con aire de creencia optimista. Pero ya han pasado cinco años desde su libro, y el panorama aparece todavía más promisorio en cuanto a convertir en realidad lo que ha sido ciencia ficción.

Cristopher Langton, del Santa Fe Institute y del Complex Systems Group de Los Alamos, afirmaba y preguntaba

en 1991 que “tenemos cosas en el computador capaces de evolucionar, reproducirse, metabolizar, cosas que poseen patrones complejos en el espacio y en el tiempo. ¿No están vivas?”

A Langton se le da el crédito de establecer la vida artificial como una disciplina científica definida. Fue él quien, trabajando en el National Laboratory de Los Alamos, organizó la primera conferencia sobre vida artificial. Concurrieron más de 100 investigadores que trajeron toda una fauna artificial. Además de robots, también trajeron genes basados en computadores, helechos, flores, gusanos e insectos; también hubo peces, aves y abejorros; y zorros y conejos en sus correspondientes habitats (Regis 1991).

El campo de la vida artificial comprende el estudio de los sistemas adaptables complejos en la totalidad de las miradas de sus formas: desde la evolución química prebiótica, a la evolución biológica, la evolución del lenguaje y de los sistemas culturales, hasta la evolución de las economías globales. Algunos tratan de crear vida sintética en el medio químico, como lo describe David H. Freedman, uno de los editores de *Discover*, quien presentó en agosto de 1992 tres perspectivas de los esfuerzos por crear vida artificial, no robots, no máquinas inteligentes ni programas de computador que simulen la vida y la evolución de la vida: más bien tratan de crear protoplasma a partir de compuestos químicos orgánicos, molécula por molécula, célula por célula (Freedman 1992).

Tales esfuerzos por crear vida sintética son:

. Creación de metabolismo. Steven Rasmussen, del Los Alamos National Laboratory, lo hace a partir de un lote de DNA primitivo que se autoconforma en el tubo de ensayo, y que luego se mantiene intacto mediante nutrición y el desecho de materia en deterioro. Rasmussen ha diseñado “árboles de información” que son mímica de

la vida; ha diseñado el metabolismo como una jungla cooperativa de reacciones químicas, reacciones que se esfuerzan mutuamente y son capaces de soportar vida por períodos de tiempo prolongados. Es protovida sintética.

. Creación de células. Jack Szostak, del Massachusetts General Hospital de Boston, lo hace colocando moléculas auto-replicas en el interior de una membrana sintética.

. Crecimiento de colonias de células nerviosas. Por Masuo Aizawa, del Instituto de Tecnología de Tokio, quien ha logrado cultivar colonias de células nerviosas, algo así como el precursor de un circuito electrónico biológico que tiene como propósito final la construcción de cerebros sintéticos.

La noticia de un logro asombroso, en octubre de 1993, de la clonación de un embrión humano informada por Jerry Hall de George Washington University en una reunión de la American Fertility Society en Montreal, estremeció al mundo por su espectacularidad científica, pero también por sus profundas implicaciones éticas. La noticia fue ampliamente difundida en revistas laicas de circulación internacional y nacional (Elmer-Dewitt 1993; Olivares & Bayo 1993; Otero - Ruiz 1994).

Pero otros, como C. Langton, prefieren crear vida artificial con computadores. Su trabajo actual es sobre la estimulación computarizada de una célula biológica completa (Regis 1991).

Langton cree que igual que se considera posible crear inteligencia artificial en el computador, también lo es crear vida artificial: "Los procesos en el computador son más que simulaciones; inteligencia y vida reales pueden ser incorporadas en material artificial. El término *artificial* se refiere al material, no a la vida... Pero algunos argumentarán: La vida no puede ser independiente del material. Pero

mire las enzimas. Muchas de sus propiedades dependen de las interacciones químicas y de las propiedades de los átomos involucrados en cadenas específicas... Ciertamente que algunas funciones deben ser realizadas en un algún tipo de hardware, pero el hardware específico es frecuentemente irrelevante para la función misma. Puesto que otros materiales también pueden ser viables, los computadores podrían proveer una base material suficiente para la vida... La vida artificial también cubre la analogía entre la evolución biológica y la evolución del lenguaje y la cultura. El lenguaje es una especie de DNA social... El problema de la vida artificial puede ser más fácil de resolver que el de la inteligencia artificial. Seguramente sabemos mucho más acerca del funcionamiento de una célula que acerca del funcionamiento del cerebro... Los virus del computador, entre las cosas presentes allá adentro, son lo más cercano a la vida artificial. En varios casos un virus de computador ha sobrecogido otro virus y generado un nuevo virus que nadie había escrito... Se han hallado propiedades emergentes de las interacciones de los programas cuando hablan los unos con los otros... el medio está maduro para la generación de fenómenos complejos de alto nivel..." (Regis 1991).

La fascinante entrevista de Ed Regis con Langton termina con el interrogante sobre la posibilidad de que la vida artificial reemplace a la vida natural: "Esto dependerá de nuestra decisión de liberar máquinas vivas, evolucionantes y autónomas, con derechos a la existencia en la biosfera... Pero tratar de especular sobre el futuro de la vida artificial es especular sobre la evolución. Las formas de vida artificial genuinamente autónomas deben tener la capacidad de evolucionar. Y con ello, podrían ascender para llegar a ser seres inteligentes y racionales... La vida futura probablemente incluirá relaciones simbióticas entre maquinaria autónoma, gente autónoma y plantas autónomas con existencia confinada a cápsulas autosuficientes. Similares y análogas a las protocélulas, tales habitats se habrán de reproducir en la medida que se dispersen en el espacio". ¿Y la entidad

máquina-humana será análoga a una célula individual? “Sí. Tal fue lo que ocurrió en el pasado. Colecciones de moléculas conformaron células; una colección de células conformó células más complejas; unas colecciones de éstas conformaron los organismos multicelulares. Cuando la evolución dé un gran paso, éste será el salto de una colección de individuos de un nivel para conformar un sólo individuo del siguiente nivel”.

Y concluye así: “*Si tuviéramos un ser humano simulado en un computador, uno que por lo demás se comportara como usted o como yo, tendría derecho a la corriente eléctrica? ¿Podríamos desenchufarlo?*” (Regis 1991).

Apendice - algunas referencias útiles para usuarios de computadores.

INTERNET

En 1969 se creó ARPAENT, una red de computadores de agencias gubernamentales de los Estados Unidos, como el producto de la Advanced Research Project Agency, con el propósito de intercambiar información y permitir el uso común de programas. ARPANET fue descontinuada, pero ya se habían creado e interconectado unas redes, primordialmente del Gobierno de los EUA y de universidades y entidades educativas, y la resultante red de redes es **Internet** (Heels 1994).

Internet es conocida popularmente como la “**superautopista de la información**” y acceder a ella y consultarla se denomina “navegar en Internet”.

Su utilización más práctica y más frecuente es tal vez el correo electrónico (E-mail).

En la actualidad Internet es una red internacional de redes de computadores conectada vía líneas telefónicas, conexiones de microondas y satelitales, redes que utilizan el mismo lenguaje, los protocolos TCP/IP

(*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Algunos de los computadores usan los protocolos TCP/IP, en tanto que otros no los utilizan, especialmente los servidores de carácter comercial, como, por ejemplo, Colomsat en Colombia.

Aunque en un principio Internet fue utilizado exclusivamente por las agencias gubernamentales y las entidades educativas, en la actualidad cualquier persona, en cualquier parte del mundo, puede ingresar a Internet y acceder a sus servicios (Heels 1994).

Internet contiene (Kent 1994):

- . Computadores gubernamentales de las diferentes naciones del mundo
- . Computadores de universidades, colegios e instituciones educativas
- . Sistemas de las grandes corporaciones, como IBM o Microsoft
- . Sistemas de instituciones sin ánimo de lucro que tienen como objetivo hacer asequible información en línea a la gente
- . Computadores de entidades comerciales que cobran por el acceso al sistema.

Además, publicaciones periódicas en línea, que permiten leer los diarios y revistas del mundo en la pantalla del computador personal. Ya están disponibles servicios de compra, de toda clase de artículos, a través de los catálogos que aparecen en la Internet.

Para el médico Internet representa un método de acceso inmediato y en tiempo real a toda clase de fuentes de información, y le permite consultar bancos de datos y bibliotecas, “bajar” a su pantalla imágenes diagnósticas,

cortes histológicos, etc., y hacer consultas con sus pares a través del económico y ágil correo electrónico.

Ningún medio impreso puede igualar la capacidad de expansión de Internet. La mayoría de los materiales disponibles para consulta en el campo biomédico está allí gracias a esfuerzos voluntarios.

La siguiente es una lista parcial, a manera de ejemplo, de lo que puede ser accesado por un médico a través de Internet:

. Enfermedades y entidades patológicas

Por ejemplo, se puede acceder a una multitud de información sobre SIDA (AIDS), Cáncer, enfermedad de Alzheimer o Artritis, etc.

- . Revistas y publicaciones científicas
- . Asociaciones y sociedades gremiales, científicas y de especialidades médicas
- . Enfermería y profesiones afines de la medicina
- . Equipos médicos y hospitalarios
- . Economía médica
- . Legislación médica y de salud
- . *Grants* para investigación
- . Organizaciones nacionales e internacionales
- . Bibliotecas
- . Bases de datos especializadas
- . Facultades de medicina e institutos e investigación
- . Institutos de salud
- . Organizaciones de seguridad social
- . Hospitales
- . Información sobre salud para el público

A manera de ejemplo, en el campo de Cáncer, aparecen en Internet (Hancock 1996):

. **CÁNCER-L**

Acceso: E-mail

listserv@wvnm

Contiene material sobre tópicos relacionados con cáncer

. **CANCERNET**

Acceso: E-mail; WWW; Gopher
Cheryl Burg, CancerNet Project Manager
cheryl@icicc.nci.nih.gov

Pertenece al National Cancer Institute (NCI) de los Estados Unidos y permiten obtener información general sobre cáncer, acceder a la base de datos PDQ (Physicians Data Query), solicitar los "fact sheets" sobre cáncer de la Office for Cancer Communications del NCI y referencias bibliográficas y resúmenes sobre tópicos seleccionados de la base de datos CANCERLIT. Alguna de la información está disponible en el idioma español.

. **BREAST-CANCER**

Acceso: E-mail
listserv@morgan.ucs.mun.ca

Presenta una amplia variedad de información abierta sobre terapias, avances en investigación, listas de investigadores, pacientes, familias y amigos, para discusión e intercambio de ideas y experiencias. Pertenece a J. Church, Ph.D., de los Terry Fox Labs, Faculty of Medicine, University of Newfoundland.

. **THE BREAST CANCER INFORMATION CLEARINGHOUSE**

Acceso: Gopher
gopher://nysernet.org:70/11BCIC

Es propiedad y es administrado por NYSERNet, con fondos del Estado de Nueva York.

Está destinado principalmente a proveer información a pacientes con cáncer de seno y a sus familias. La documentación disponible incluye material educativo para

pacientes de la American Cancer Society y el National Cancer Institute, estadísticas del New York State Department of Health, el listado de diversas facilidades clínicas en el estado de Nueva York, listas de grupos de soporte y materiales de la National Alliance of Breast Cancer Organizations e información sobre legislación pertinente.

El práctico manual de Lee Hancock, *A Physicians Guide to the Internet* (Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, 1996), contiene un listado abundante de los recursos de información disponible en Internet a finales de 1995, con sus correspondientes códigos de acceso. Este manual puede ser ordenado a la siguiente dirección: Lippincott-Raven Publishers, 227 East Washington Square, Philadelphia PA, 19106-3780.

Tel. 1- 800-6383030
FAX: 301-8247390

También a manera de ejemplo, los siguientes recursos en el campo de las **ciencias neurológicas** pueden ser accedidos a través de la WWW (Internet Med 1996):

. ALZHEIMER'S DISEASE REVIEW

<http://www.uky.edu//ADReview/>
E-mail EDReview: info@www.coa.uky.edu.

Es una revista (de *peer review*, o sea aquella cuyos artículos son revisados por pares) que apareció en la primavera de 1996 en la WWW.

. NEURONET

<http://www.thomson.com/rapid/neuronet.html>
E-mail: rapid@rapidcom.co.uk

Es una de las más vastas y comprensivas ubicaciones de la Web. Fue desarrollada por Rapid Science Publishers, subsidiaria de la canadiense Thompson Corporation. Uno de los servicios es la revista NeuroReport, dirigida por

el Profesor David Ottoson del Instituto Karolinska de Estocolmo.

. THE CENTER FOR THE NEURAL BASIS OF COGNITION (CNBC)

<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/CNBC.html>

El Centro es patrocinado conjuntamente por la Universidad Carnegie Mellon y la Universidad de Pittsburgh. Provee acceso tanto a otros recursos disponibles en la red, así como a su propio contenido. Está dedicado al estudio de las bases neuronales de los procesos cognoscitivos, incluso aprendizaje y memoria, lenguaje y pensamiento, percepción, atención y planeación, y a su aplicación a la inteligencia artificial, la tecnología y la medicina.

. NEUROSURGERY

<http://wwilkins.com.neurosurgery>

Contiene los resúmenes (*abstracts*) de los artículos de la revista *Neurosurgery*, a partir de octubre de 1995. El acceso es gratuito.

. NEUROSCIENCES ON THE INTERNET

<http://www.lm.com/~nab/>

Provee un índice de los recursos en neurociencias, incluyendo neurología, neurobiología, neuropsiquiatría, neurocirugía, psiquiatría y ciencias cognoscitivas.

Otros recursos en el campo de las ciencias neurológicas disponibles en Internet son:

. American Academy of Neurology

<http://synapse.uah.ualberta.ca/aan/htm>

. Neuropharmacology World Wide Web Server

<http://www-hbp-np.scripps.edu/Home.html>

. Structural Information Framework for Brain Mapping

<http://wwwl.biostr.washington.edu/BrainProject.html>

. Genesis Database

<http://www.bbb.caltech.edu/hbp/database.html>

Es la plataforma del General Neural Simulation System, un proyecto destinado a dar apoyo a la simulación de sistemas neurales desde modelos complejos de una neurona única hasta la simulación de vastas redes conformadas por componentes neuronales más abstractos. La plataforma constituye la base para los cursos de laboratorio de varias facultades de medicina y de ingeniería.

La **Facultad de Medicina de la Universidad de Yale**, poseedora de una de las bibliotecas médicas más completas del mundo, la Harvey Cushing/John Hay Whitney Medical Library, está entre las pocas escuelas médicas de los Estados Unidos ha recibido uno de los *grants Integrated Advance Information Management Systems* de la National Library of Medicine. La Facultad opera un sofisticado centro de medios educacionales avanzados, el *Center for Advanced Instructional Media*, el cual labora en la adaptación de la nueva tecnología a la educación médica.

La Facultad de Medicina de Yale ha puesto una gran variedad de recursos de información accesible en Internet, entre ellos los siguientes (Yale Med 1996):

. Yale Medicine magazine

<http://www.med.yale.edu/medical/pubinfo/yalemed/>

Contiene el texto completo de la revista que constituye el boletín informativo para los exalumnos de la Facultad de Medicina de Yale.

. Iaims Bulletin

<http://info.med.yale.edu/acadcomp/iaimsbulletin/>

Es la publicación del programa *Integrated Advanced Information Management Systems* de la Facultad de Medicina de Yale.

. Yale School of Medicine On Line Admissions Viewbook

<http://info.med.yale.edu/medadmit/>

Es una presentación en texto y gráfica de la Facultad de Medicina, e incluye el formato electrónico de aplicación.

. Faculty Research Interests database

gopher://info.med.yale.edu:70/11/Grants/FacultyResearchInterests

Presenta un listado del profesorado de la Facultad de Medicina de Yale y de sus proyectos de investigación.

. MedMenu

<http://info.med.yale.edu/medmenu/>

Provee acceso a los catálogos de la Biblioteca de la Facultad de Medicina de Yale, a información sobre *grants* (subsidios), a MEDLINE y a otros recursos más allá de la Universidad.

. Selected Internet Resources

<http://info.yale.med.edu/library/resources/>

Recursos de información disponibles más allá de la Universidad.

. Library electronic forms

<http://info.yale.med.edu/library/services/forms.html>

Provee el mecanismo para solicitar libros, publicaciones periódicas y asistencia en investigación por vía del computador.

. Your Health and Lifestyle

<http://info.med.yale.edu/ynhh/HL.html>

Son los textos de las transmisiones radiales sobre asuntos de salud para la comunidad que hacen la Facultad de Medicina de Yale y el Yale-New Haven Medical Center.

La **conexión a Internet** requiere una serie de componentes y aditamentos, principalmente los siguientes:

. Un computador con capacidad para operar software de telecomunicaciones, conectado a un modem.

. Un modem, el cual convierte las señales digitales del computador a señales capaces de ser transmitidas por la línea telefónica. Se requiere un modem rápido, ojalá de más de 9.600 bps (bits por segundo).

. Un software de comunicación simple. El Microsoft Works de Microsoft ya trae el programa de telecomunicación.

. Un código, o nombre, de *login* (el nombre del usuario que el computador pueda reconocer). Por ejemplo, Jorge Enrique Pardo puede usar un login como *Jpardo*.

. Un *password*, que es el “pase” de acceso, el cual nadie más debe conocer. Este password se teclea en la pantalla; es comunicado al y registrado por el administrador del sistema.

Los dos sistemas más populares para navegar en Internet son:

World Wide Web (WWW, o W3). Tal vez el más sencillo de usar. A través de WWW también es posible ingresar a otros sistemas de acceso a Internet (Gopher, WAIS, FTP, etc.).

Gopher: es el sistema desarrollado por la Universidad de Minnesota para navegar en el *gopher space* de Internet.

Hay numerosos manuales y guías sobre Internet, entre ellos algunos especialmente diseñados para médicos, como el ya mencionado *Physicians Guide to the Internet*, por Lee Hancock.

El computador permite el acceso a Internet, que representa un ciberespacio sin límites de distancia, volumen ni tiempo.

Internet provee el correo electrónico, E-mail, probablemente el medio de comunicación internacional de más rápido crecimiento y el de más amplio futuro.

Gracias a Internet es probable que la mayoría de las publicaciones periódicas esté disponible para consulta en líneas en el futuro inmediato. Actualmente ya existe una gran cantidad de ellas, al lado de revistas de interés general y diarios.

El acceso a las grandes bases de datos es ya una realidad, y muy pronto se convertirá también en realidad la “biblioteca virtual mundial”.

El médico tiene ahora oportunidades nunca soñadas para la obtención de información, y es su obligación entrar de lleno en la *era de la comunicación*, por cuanto su trabajo, tal vez más que ninguna otra actividad humana, depende fundamentalmente de un buen manejo de la información.

Para acceder a Internet se requiere un procesador 486 o superior (el Pentium-75 es el estándar actual), 8 mb en RAM, 500 mb en disco duro y un modem de 14.440 bps.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Angier N. The organic computer.
Discovery 3 (5): 76, 1982
- 2) Birge RE. Protein based computers.
Scientific American March, 1995
- 3) Braude RM, Florence V, Frisser M Fuller S. The organization of the digital library.
Acad Med 70:286, 1995
- 4) Bray D. Protein molecules as computational elements in living cells.
Nature 376:307, 1995
- 5) Buchanan B, Shortlife E. Rule Based Expert Systems: the MYCIN Experiments of Stanford Heuristic Programming Project.
Addison-Wesley. Reading, Mass., 1984
- 6) Burrow GN. Embracing the digital future.
Yale Medicine 30(2, Winter):1, 1966
- 7) Caudill M. In Our Own Image. Building an Artificial Person.
Oxford University Press. New York/Oxford, 1992
- 8) Chalmers DJ. Mind out of matter.
Scient Am 272 (6, June):85, 1995
- 9) Chaisson E. Cosmic Dawn. The Origins of Matter and Life.
Little, Brown and company. Boston - Toronto, 1981
- 10) Chodorow S. Educators must take the electronic revolution seriously.
Acad Med 71:221, 1996
- 11) Collins W. Not with a bang but a bleep.
The Spectator (London) Oct. 8, 1994
- 12) Editors of Scientific American. The Computer in the 21st Century.
Scientific American. Special issue, 1995
- 13) Elmer-Dewitt P. Cloning: where do we draw the line?
Time Vov 8, 1993
- 14) Encyclopaedia Britannica. International Edition. Vol 6, p. 937
Encyclopedia Britannica Inc. Chicago, 1965
- 15) Encyclopaedia Britannica. 15th edition. Information Theory. Macropaedia. Vol 16, p. 631
Encyclopaedia Britannica Inc. Chicago, 1993a
- 16) Encyclopaedia Britannica. 15th edition. Computers. Macropaedia. Vol 16, p. 638
Encyclopaedia Britannica Inc. Chicago, 1993b
- 17) Encyclopaedia Britannica. 15th edition. Automata theory. Macropaedia. Vol 14, p. 539
Encyclopaedia Britannica Inc. Chicago, 1993c
- 18) Encyclopaedia Britannica. 15th edition. Computers. Macropaedia. Vol 25, p. 674
Encyclopaedia Britannica Inc. Chicago, 1993d

- 19) Encyclopaedia Britannica. 15th edition. Information processing and information systems. Macropaedia. Vol 21, p. 615
Encyclopaedia Britannica Inc. Chicago, 1993e
- 20) Falcón Martínez C, Fernández-Galiano E, López Melero R. Diccionario de la Mitología Clásica. Alianza Editorial SA. Madrid, 1992
- 21) Farrington B. Ciencia y Filosofía en la Antigüedad. Editorial Ariel SA. Barcelona, 1992
- 22) Feigenbaum EA, McCorduck. The Fifth Generation. Addison-Wesley. Reading, Mass., 1988
- 23) Flórez Ochoa R. Hacia una Pedagogía del Conocimiento. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, 1994
- 24) Foss L, Rothenberg K. The Second Medical Revolution. From Biomedicine to Infomedicine. New Science Library. Shambhala. Boston & London, 1987
- 25) Freedman DH. Playing God. The making of artificial life. Molding the metabolism. The handmade cell. If he only had a brain. Discover 13(8, August):35-60, 1992
- 26) Freedman DH. Los Hacedores de Cerebros. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile, 1994
- 27) Frisse ME. Acquiring information management skills. Acad Med 69:803, 1994
- 28) Gates B. Mirando al Futuro. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, 1995
- 29) Genest E. Figuras y Leyendas Mitológicas. Editorial Juventud SA. Barcelona, 1961
- 30) Gleick J. Chaos. Making a New Science. Penguin Books. New York, 1987
- 31) Hancock L. Physicians' Guide to the Internet. Lippincott-Raven Publishers. Philadelphia, 1966
- 32) Hargreaves J. Computers and the Changing World. A Theme for the Automation Age. Hutchinson & Co (*Publisher*) Ltd. London, 1967
- 33) Hayes B. A computer with its head cut-off. Am Scientist 83:126, 1995
- 34) Heels EJ. Why lawyers should get on the Internet: research on- and legal issues raised by- the Internet. Law Practice Manag Nov/Dec 1994, pages 25-29
- 35) Heim M. The Metaphysics of Virtual Reality. Oxford University Press. New York (Oxford), 1993
- 36) Homero. La Iliada. Traducción de Luis Segatá Estalella. Editorial Bruguera SA. Barcelona, 1974
- 37) Horgan J. From complexity to perplexity. Scient Am 227 (6, June):74, 1995
- 38) Int Med. Internet Medicine (Lippincott-Raven) April 1996, 1.3 Page 3
- 39) Kattan MV, Beck JR. Artificial neural networks for medical classification decisions (Editorial). Arch Pathol Lab Med 119:672, 1995
- 40) Kent P. 10 Minutes Guide to the Internet. Alpha Books. Indianapolis, 1994
- 41) Krumenaker L. Virtual libraries, complete with journals, get real. Science 260:1066, 1993

- 42) Kurzweil R. La Era de las Máquinas Inteligentes. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologías (Conacyt). Mexico DF, 1994
(Versión castellana de *The Age of Intelligent Machines*. MIT, Cambridge, 1991).
- 43) Lewin R. Complexity. Life at the Edge of Chaos. Collier Books. Macmillan Publishing Company. New York, 1992
- 44) McCorduck P. Máquinas que Piensan. Una Incurción Personal en la Historia y las Perspectivas de la Inteligencia Artificial.
- 45) Editorial Tecnos SA. Madrid, 19991
(esta es la versión castellana de *Machines Who Think. A Personal Inquiry Into the History and Prospects of Artificial Intelligence*. WH Freeman and Co. New York/Oxford, 1979).
- 46) McGrath P. Your electronic future. Special report. Newsweek June 6, 1994
- 47) Olivares J, Bayo CE. El embrión que llegó del frío. Cambio 16 Nov 1, 1993
- 47a) Otero - Ruiz, E.: Algo más que la supuesta donación de humanos. Tribuna Médica 90: 34-35, 1994
- 48) Penrose R. La Nueva Mente del Emperador. Grijalbo-Monadadori SA. Barcelona, 1991
(Esta es la versión en castellano de *The Emperor's Mind*, Oxford University Press, 1989)
- 49) Penrose R. Shadows of the Mind. A Search for the Missing Science of Consciousness. Oxford University Press, 1994
- 50) Prigogine I. El Nacimiento del Tiempo. Tusquets Editores SA. Barcelona, 1993 (versión castellana de *La Nascita del Tempo*. Edizioni Theoria srl. Roma/Nápoles, 1988)
- 51) Regis E. Interview with Cristopher Langton. Omni 14(October): 99, 1991
- 52) Rosen S. Doctor Paracelsus. Little, Brown Co. Boston, 1959
- 53) Ruiz de Gopegui. La Cibernética de lo Humano. Editorial Tecnos. Madrid, 1983
- 54) Russell P. La Tierra Inteligente. GAIA Ediciones. Madrid, 1993
(versión castellana de *The Awakening Earth*, 1992)
- 55) Santos F. ¡Qué bueno es estar vivo! El Tiempo (Santafé de Bogotá) marzo 25, 1996 Pág. 4A
- 56) Schrödinger E. What is life? The Physical Aspects of the Living Cell. Cambridge: At the University Press. New York: The Macmillan Company, 1947
- 57) Schrödinger E. ¿Qué es la Vida? El Aspecto Físico de la Célula Viva. Ediciones Orbis. Barcelona, 1986
- 58) Shannon CE. En: Shannon CE and W Weaver. The Mathematical Theory of Communication. 1949 (reprinted 1975)
- 59) Tank DW, Hopfield JJ. Collective computation in neuronlike circuits. Scient Amer 257 (6, December):62, 1987
- 60) Tesler LG. Networked computing in the 1990s. En: The Computer in the 21st Century. Scientific American. Special issue, 1995

61) Von Neumann J. The Computer and the Brain. Yale University Press. New Haven, 1958

62) Watson JD. The Double Helix. Weidenfeld and Nicolson. London, 1968

63) Weinstein SM, Keim A. Principios Básicos de los Computadores. Editorial Labor SA. Barcelona, 1968

64) Weiser M. The computer for the 21st century. En: The Computer in the 21st Century. Scientific American. Special issue, 1995

65) Wiener N. Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. 2nd

edition. MIT Press. Cambridge, 1961

66) Wiener N. Cibernética. Guadiana. Madrid, 1971

67) Yale Med. Yale Medicine. Alumni Bulletin of the School of Medicine. Digital education. Computers advance the teaching of medicine. Yale Med Winter 1996 (Vol. 30, No. 2)

68) Yu VL, Fagan LM, Wraith SM, et al. Antimicrobial selection by computer: a blinded evaluation by infectious disease experts. JAMA 242:1279, 1979