

Una nueva forma de pensar y hacer: el computador

*Asdrúbal Valencia Giraldo**

Resumen

Se hace un resumen del desarrollo del computador, desde el ábaco hasta los supercomputadores actuales. Se analizan los campos de aplicación y las disciplinas conexas con la informática. Se presentan brevemente temas centrales como la inteligencia artificial y la robótica, y se hace un análisis de las consecuencias, técnicas, científicas, culturales, económicas y sociales de la introducción del computador en la sociedad.

----- *Palabras clave:* computador, informática, automatización, inteligencia artificial, robótica, sociedad de la información.

Abstract

A brief presentation is made on computer evolution from abacus to modern supercomputers. Application fields are analyzed as well as the disciplines connected to computers science. Central issues are briefly presented, such as artificial intelligence and robotics. Finally, an analysis is made on technical, scientific, cultural, economic and social consequences of computer introduction in civilization.

----- *Key words:* computer, computer science, automation, artificial intelligence, robotics, information society.

* Profesor Departamento de Ingeniería de Materiales. Universidad de Antioquia.

Introducción

Los computadores no son máquinas calculadoras, aunque la mayoría de ellos son capaces de efectuar cálculos; tampoco son máquinas procesadoras de información, si bien la mayoría la procesan. La mayor dificultad al tratar de definir lo que son los computadores reside en esa falta de especificidad. *Un computador es una máquina que obedece a la secuencia de instrucciones que le ha sido ordenada y que puede modificar esas instrucciones a la luz de ciertos resultados intermedios.* Lo que ha llegado a ser un computador es una concatenación de cuatro elementos principales, cada uno con su propia historia: la lógica binaria, los programas almacenados, el medio de almacenamiento y los dispositivos de entrada y salida.

Uno de los elementos es la idea de expresar la lógica binaria mediante interruptores que pueden estar en posición de encendido o en posición de apagado. En la prehistoria de los computadores hubo dispositivos que incorporaban el mismo concepto lógico. Pero sólo con el trabajo de Claude Shannon en los laboratorios de la Bell, que partió de las ideas de Norbert Wiener, pudo crearse la teoría matemática de la información. Esta teoría es el fundamento de la moderna ciencia de los computadores [1].

La creación del programa almacenado es lo que la mayoría de los historiadores consideraría la *invención* del computador. Este concepto fue vislumbrado por la hija de Lord Byron, pero como se verá posteriormente, el nombre asociado con la idea de programa almacenado es el de John von Neuman. Almacenados en el computador están los programas que le dicen a la máquina qué sucesión de pasos lógicos tiene que efectuar para realizar una instrucción dada por el usuario; éste da las instrucciones en idioma humano y el programa almacenado traduce las palabras y sus letras a la lógica del computador. Esos programas son partes del sistema operativo propio de la máquina, pero también hacen uso de ese sistema operativo los programas almacenados que

efectúan las operaciones científicas o administrativas que el usuario necesite.

¿En dónde está almacenado el programa? Para contestar la pregunta se llega al tercer elemento que constituye un computador: el medio de almacenamiento. Tanto el programa como los datos de entrada y los resultados de salida deben ser guardados. El medio de almacenamiento puede de ser un disco duro, una cinta, un disquete o un disco compacto. Todos estos medios de almacenamiento comparten la característica de que los puntos localizables en una retícula pueden ser encendidos o apagados, como interruptores, para representar la información; desde las tarjetas perforadas de Hollerich hasta los *chips* actuales, los medios físicos de almacenamiento evolucionan constantemente.

El cuarto elemento de un computador son los dispositivos de entrada y salida, o periféricos, que han variado desde la lectora de tarjetas hasta el ratón y desde las impresoras primitivas hasta los sistemas de captura, digitalización y despliegue de imagen, video, sonido [2].

En resumen, por encima de cualquier consideración los computadores son máquinas universales, capaces de hacer cualquier cosa que pueda ser expresada en forma de instrucciones apropiadas (software o soporte lógico), suponiendo claro está, que se disponga del hardware (soporte físico) adecuado. La potencialidad de ser máquinas universales les da a los computadores ese halo de poder que ostentan [3].

La intención de Darwin era que el concepto de *selección natural* tuviera un sentido equivalente al del “poder de selección” ejercido por el hombre en la cría de animales domésticos. Desde el punto de vista conceptual es fácil extender la misma idea a la producción artificial de máquinas y a la naturaleza, y eso es precisamente lo que hizo Samuel Butler en su libro *Everwhon*. Así, las máquinas –por ejemplo un carro o un avión– pueden ser seleccionadas por su velocidad, de igual modo que la cría doméstica selecciona en su caso a los caballos de carrera. Esta

es la verdadera reproducción artificial practicada por los humanos; y en este sentido son fieles a su propia naturaleza. Sin embargo, cuando estas máquinas adquieren la cualidad de máquinas de utilidad general, como prometen ser los computadores, al unir distintas ampliaciones de las facultades humanas o animales, es cuando adquieren la potencialidad de llegar a ser sobrehumanas.

Esta potencialidad se conecta con las aspiraciones de perfección y con frecuencia estas últimas van emparejadas con una tendencia a la predicción que, a su vez, suele rayar con las profecías fantásticas. Una línea que continúa hacia la exageración, al imaginar el día en que los cerebros serán sustituidos por la inteligencia de silicio de los computadores, y que se alcanzará un estado si no de perfección al menos sí de vida inmortal, que brindará toda la eternidad para lograr la perfección.

Otros científicos afirman que la esencia de la revolución de los computadores consiste en que la carga de producir el conocimiento del futuro se transfiere de las cabezas humanas a la máquina. Se podrían citar otros comentarios parecidos, como: “La cantidad de inteligencia que poseemos los humanos es arbitraria. No es más que la cantidad que poseemos en este punto de la evolución. Hay gente que cree que la evolución se ha parado y que nunca podrá haber nadie más listo que nosotros” [4].

Las generaciones de computadores van cambiando y se reproducen a gran velocidad. Los humanos necesitaron eones para desarrollar el sistema límbico del cerebro; ahora lo heredan de forma inmediata con el nacimiento. La corteza cerebral, responsable de lo que hoy día se conoce como cultura, es una parte relativamente nueva del cerebro. Esta cultura ha permitido desarrollar máquinas, en estos momentos máquinas computadoras. Como comenta Turing: “La supervivencia del mejor adaptado es un método lento para medir los avances. Gracias al ejercicio de su inteligencia, el experimentador debería ser capaz de aumentar la velocidad de la evolución” [5].

Y se ha aumentado, gracias al ejercicio de la inteligencia; por medio de la llamada cría artificial, los humanos han producido al menos cinco generaciones de computadores: comenzando con los relés electromecánicos de 1944 (generación cero), una generación de tubos de vacío en 1946, transistores en 1959, circuitos integrados en 1964, integración a media y gran escala en 1969 e integración a muy grande escala en 1978. Y otras nuevas que apenas se vislumbran.

Los computadores mecánicos

Sin duda, los dedos de las manos fueron los primeros auxiliares para el cómputo, así como los guijarros (de donde viene la palabra cálculo), que por medio de unas ranuras en el suelo se usaban para contar. Esta especie de ábaco fue descubierta en excavaciones arqueológicas. El siguiente fue el desarrollo de las ayudas mecánicas.

El ábaco

Los aparatos de cálculo son casi tan antiguos como las matemáticas; el ábaco, término que proviene de la palabra fenicia *abak*, se remonta 3.500 años a.C. y fue usado en Babilonia. Los romanos, los griegos y los egipcios empleaban el ábaco. Los chinos y los japoneses tenían dispositivos similares, en los que se deslizaban cuentas a lo largo de una serie de varillas o ranuras paralelas; el chino se llama *suan pan*, el japonés *soroban*. Es interesante anotar que, todavía en 1946, un norteamericano, experto en el empleo de la mejor calculadora eléctrica de mesa, perdió una competencia con un oficinista japonés, que utilizaba el tradicional *soroban*.

Las máquinas de Pascal y Leibniz

En 1623, el científico alemán Wilhem Schikard (1592-1635) ideó una calculadora mecánica, denominada reloj calculante, que funcionaba con ruedas dentadas y era capaz de sumar y restar, pero no se pudo construir en aquella época [6].

El verdadero antepasado de las modernas calculadoras es una máquina de sumar inventada

por Blaise Pascal en 1642. Al igual que muchas de sus sucesoras, dependía de una serie de discos interconectados, numerados de 0 a 9, que corresponden respectivamente a las unidades, decenas, centenas, millares, etc. Una revolución completa de un disco realizaba una décima de revolución en el siguiente más alto, y así sucesivamente. Paralelamente a Pascal, en 1666, el matemático inglés Samuel Morland inventó otro aparato mecánico que realizaba operaciones de suma y resta, se denominó máquina aritmética de Morland, y se parecía a la de Pascal.

Pocos años más tarde, en 1672, el matemático y filósofo alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) hizo una máquina muy perfeccionada, con un registro para almacenar el multiplicando, que era mucho más eficiente en su funcionamiento. Si bien es cierto que se hicieron pocos modelos de su calculadora, de los que sobrevive uno, la fabricación en cantidades apreciables de máquinas de este tipo tuvo que esperar el desarrollo de técnicas de ingeniería de precisión más avanzadas, unos 150 años más tarde. Lo mismo ocurrió con el aritmómetro de Thomas Colmar, producido en 1820 [7].

Los logaritmos y la regla de cálculo

Otros enfoques fueron como el de John Napier –también recordado por un sistema mecánico de multiplicación, conocido como las varillas de Napier– quien en 1614 publicó su invención del logaritmo, el cual permitió que los números se pudieran multiplicar sumando logaritmos y dividir restándolos, con lo que estas operaciones se simplificaron.

Los logaritmos se utilizaban para cálculos sobre el papel, pero desde el principio estaba claro que se prestaban para el cálculo mecánico, al expresar los números en una escala lineal en función de sus logaritmos, donde la suma de las longitudes representaba el logaritmo de la multiplicación. En 1650, Patridge, basándose en los principios de Napier, inventó la regla de cálculo, perfeccionada en 1654 por Robert Bissaker, un instrumento que estuvo en uso hasta la década

de 1970, cuando fue sustituida por la calculadora electrónica de bolsillo.

La máquina de Charles Babbage

Otro gran precursor del computador moderno fue Charles Babbage. Una manera de presentarlo es compararle con uno de sus contemporáneos más conocidos: Thomas Carlyle. En “*Signs of the times*” (1829), la más brillante presentación de las implicaciones culturales de la Revolución Industrial, Tomas Carlyle anunció: “los hombres se han vuelto mecánicos en su cabeza y en su corazón, tanto como en sus manos”; es decir, que el hombre no es una máquina por su naturaleza, sino que puede convertirse en tal cosa gracias a la cultura. Tras haber inventado los relojes y máquinas de vapor, el hombre se está volviendo igual que ellos.

Carlyle era un profeta y sin saberlo intuyó la relación entre los humanos y los computadores, la forma más avanzada de la máquina del futuro. Al evocar los nombres de los grandes matemáticos, Lagrange y Laplace, observa: “el cálculo diferencial e integral es poco más que un molino aritmético ingeniosamente construido; los factores de entrada son, por así decirlo, molidos para dar un producto, trabajando a cubierto y sin más esfuerzo de nuestra parte que dar vueltas, con firmeza, de manivela”. Unos pocos años más tarde, en *Santor Resartus*, (1833), hace notar que el progreso de la ciencia, “destruyendo lo maravilloso” está llegando a un estado donde la mente humana se convierte en un “molino aritmético” [8].

En la misma época en que Carlyle escribía estas líneas ya se estaba construyendo un molino aritmético; sus conceptos básicos habían sido descubiertos por Charles Babbage, un hombre a quien conocía Carlyle. En 1822, a los treinta años, Charles Babbage envió una comunicación a la Royal Astronomical Society anunciando que estaba construyendo una máquina calculadora. En 1834 se abandonó la construcción de tal máquina por insuperables problemas técnicos y sólo vino a construirse en el siglo XX como pieza de museo [9].

La máquina de Babbage es conocida como máquina calculadora y en sus dos encarnaciones, máquina de diferencias o máquina analítica, fue un producto de la Revolución Industrial y no es posible imaginarla fuera de esta gran transformación. Babbage dio con la idea cuando, en 1820 o 1821, les encargaron a él y a su amigo John Herschel que preparasen unas tablas astronómicas corregidas para la marina mercante. Cuando, aburridos, repasaron los cálculos enviados por otras calculadoras humanas, se cuenta que Charles Babbage exclamó “le pediría a Dios que estos cálculos hubieran sido realizados por medio del vapor” [10].

Muy pronto, Babbage diseñó y construyó un modelo de lo que llamó máquina de diferencias, que para él era análoga a la máquina de vapor. Era un aparato mecánico; sin embargo, desde el punto de vista del cálculo, iba a tener un efecto realmente imponente sobre nuestra civilización, aunque se necesitaría más de siglo y medio para que sus efectos empezaran a sentirse.

Las máquinas calculadoras de Babbage eran mecánicas y funcionaban más o menos por el mismo mecanismo de relojería que los automatas antiguos. La máquina de diferencias se llamaba así porque funcionaba gracias al concepto matemático de diferencias que, a su vez permite realizar un proceso de suma sencilla. En realidad, sólo podía sumar, quedando las otras tres operaciones aritméticas reducidas a series de sumas.

A pesar de todo, incluso en su estado primitivo, era capaz de calcular tablas astronómicas con mayor eficacia y fiabilidad que los humanos. Dotada con un dispositivo de impresión, en sus tablas llevaba a la realidad aquello que Babbage había diseñado, primero en su cabeza y luego en sus dibujos.

Sin embargo, si la máquina de diferencias se hubiera quedado en su forma primitiva, hubiera sido una mera versión mecánica del abaco. Pero la hirviente mente de Babbage no iba a permitirle descansar y pronto propuso construir una máquina analítica que era a la máquina de diferen-

cias lo mismo que el análisis a la aritmética. Podía realizar las cuatro operaciones de forma autónoma y podía tabular o desarrollar. El propio Babbage hablaba de ella como “la máquina que se come su propia cola”, queriendo decir que los resultados de una tabla podían afectar a las otras columnas, cambiando así las instrucciones con que la máquina estaba operando [11].

La máquina de Babbage era programada por medio de tarjetas perforadas, idea que tal vez el inventor tomara del telar Jacquard (1801). Joseph Marie Jacquard perfeccionó el telar automático; mediante huecos perforados en una serie de tarjetas conectadas, Jacquard pudo controlar el tejido de las telas. El telar “leía” el diseño codificado en las tarjetas y las tejía adecuadamente. Estas tarjetas codificadas fueron las antecesoras de las perforadas usadas en los computadores. En la máquina de Babbage, las tarjetas perforadas eran “leídas” por varillas que pasaban por sus perforaciones.

La hija de Lord Byron, Augusta Ada Byron, condesa de Lovelace, fue la primera persona que realizó programas para la máquina analítica de Babbage, de tal forma que es considerada como la primera programadora de la historia.

En 1854 el ingeniero sueco Pehr George Scheutz, apoyado por el gobierno de su país construyó una máquina diferencial similar a la de Babbage, denominada máquina de tabular, que tuvo gran éxito y se utilizó fundamentalmente en la realización de cálculos astronómicos y la confección de tablas para las compañías de seguros.

Los computadores electromecánicos

El afianzamiento de la industria eléctrica y los avances en la mecánica de precisión permitieron su aplicación en la creación de máquinas de cálculo.

Las máquinas de Hollerich

El principio de la tarjeta perforada fue adoptado por un estadístico estadounidense, Herman

Hollerich, de la Oficina del Censo de Estados Unidos de América. En su sistema, la información pertinente se registra como una configuración de agujeros en una tarjeta de 13 x 7,5 cm². Cada tarjeta era “leída” por una máquina con sus agujas, accionadas por resorte, dispuestas de forma correspondiente a la posible configuración de los agujeros. Si una aguja encontraba un agujero, que indicaba un dato, atravesaba la tarjeta y cerraba un circuito eléctrico. Por el contrario, si una aguja no encontraba agujero se detenía y no hacía ningún contacto eléctrico. Se emplearon contadores electromagnéticos para contar las tarjetas con configuraciones idénticas. Los aparatos electromecánicos para perforar y percibir, inherentes al sistema de Hollerich, fueron los precursores del moderno equipo periférico de los computadores.

Dándose cuenta de las grandes posibilidades de su dispositivo, Hollerich abandonó la Oficina del Censo en 1896 y creó la Tabulating Machine Company para explotarlo. Desarrolló diversas máquinas y en 1901 introdujo el principio del teclado y, posteriormente, otra serie de mejoras. Hollerich se fusionó con otras dos empresas –una que hacía máquinas de cronometrar y otra que fabricaba balanzas– para formar la Computing-Tabulating-Recording Company (1911). En 1924 ésta se convirtió en la International Business Machines Company (IBM), que llegaría a ser un líder mundial en computadores electrónicos. De manera similar surgieron otras compañías fabricantes de estos equipos, como la Remington Rand, la National Cash Register (NCR), la Burroughs y la Ohmex.

La máquina enigma

Este aparato electromecánico fue usado por los alemanes para codificar mensajes y tuvo su origen en 1919, cuando Alexandre Koch lo patentó en La Haya. Luego vendió la patente a un mecánico de Berlín, Arthur Scherbius, quien siguió trabajando en la máquina a la que bautizó enigma.

Scherbius a su vez, desilusionado por las pobres ventas, cedió la patente a Alexandre von Krya,

un ingeniero ucraniano que vivía en Berlín. En 1934 los alemanes retiraron del mercado todas las enigmas pues sabían que eran capaces de generar 22 millones de combinaciones diferentes; se convirtió entonces en un secreto militar. Lo que ignoraban era que los polacos tenían un ejemplar, adquirido antes de que salieran de circulación, que permitió a los ingleses estudiar este aparato.

La enigma original contaba con tres rotores, piezas que permitían convertir las letras tecleadas en un código determinado. El mensaje cifrado podía ser leído por el receptor, si tenía una enigma configurada. Poco después se agregaron dos rotores más, los cuales sufrían variaciones periódicas como medio de seguridad. Se cree que Alemania usó entre 75 y 80 mil enigmas durante la guerra [12].

La calculadora automática de secuencia controlada (ASCC)

A mediados de la década de 1930 se habían producido varios desarrollos que permitían hacer realidad las ideas de Babbage, sin tener que resolver los problemas mecánicos que él no había podido superar. Aquellos eran, en particular, el sistema de tarjetas ya mencionado y diversos dispositivos de selección automática desarrollados primordialmente para sistemas de comunicación eléctrica. En 1939, John V. Atanasoff, un físico y matemático estadounidense, en el Iowa State College, construyó un prototipo, en el tablero de pruebas de un computador digital electromecánico, una de cuyas características fue el uso, por primera vez, de los tubos de vacío para el cálculo. Ese mismo año, Howard Aiken, de la Universidad de Harvard, dándose cuenta de estas posibilidades, invitó a la IBM a colaborar con él en su desarrollo. El resultado, en agosto de 1944, fue la Calculadora Automática de Secuencia Controlada (ASCC). Ésta es frecuentemente considerada como el prototipo moderno de los computadores electrónicos, y desde luego es cierto que inició una línea completamente nueva de calculadoras y procesadores de información. No obstante, no era un computador electrónico, pues se basaba en ruedas numéricas accionadas eléctricamente, controladas por un complejo sis-

tema de embragues electromagnéticos y programadas por cinta perforada [13].

Aunque menos ambiciosa que la máquina analítica de Babbage, la ASCC media 15 m de longitud, pesaba 5 toneladas e incluía casi un millón de componentes y 800 km de cable. Si bien es cierto que era capaz de multiplicar dos números de once dígitos en tres segundos, tan sólo pocos años más tarde esto habría de resultar inadmisiblemente lento. No obstante, la ASCC siguió siendo utilizada en Harvard durante unos quince años y se construyeron tres modelos posteriores en los que, entre otras mejoras, se sustituyeron los embragues electromagnéticos por relés eléctricos, del tipo empleado en la ingeniería de telecomunicaciones.

De gran significado en la evolución del computador digital fue el trabajo del matemático y lógico inglés George Boole. En varios ensayos escritos a mediados del siglo XIX, Boole llamó la atención sobre la analogía entre los símbolos del álgebra y los de la lógica, como se usan para representar formas lógicas y silogismos. El sistema de Boole, con sus operadores lógicos binarios (es decir, Y, O y NO), llegaron a ser la base de lo que ahora se conoce como álgebra booleana, sobre la que se basa la teoría de la conmutación y los procedimientos del computador electrónico.

Los computadores electrónicos

En la década de 1960, las tecnologías electromecánicas aplicadas a procesar y transportar información llegaron a sus máximos niveles de capacidad, debido al volumen y a la variedad de información que debía ser manejada. A partir de entonces, la electrónica entró paulatinamente a sustituirlas. Los equipos de cómputo y las centrales telefónicas, que utilizaban la antigua tecnología, iniciaron su mutación hacia equipos digitales.

Primera generación. La calculadora e integradora numérica electrónica (ENIAC)

El primero de los computadores electrónicos fue la calculadora e integradora numérica electrónica (ENIAC), terminada en 1946. Fue diseñada y construida para el gobierno de Estados Unidos por J. W. Mauchly y J. P. Eckert, de la Universidad de Pensilvania. Originalmente requerida para preparar tablas balísticas con fines militares, en realidad no fue terminada hasta 1946, fecha en que fue enviada al Laboratorio de Investigación en Balística en Maryland. Aunque la entrada y salida de datos todavía se hacía en forma de tarjetas perforadas –lo que forzosamente limitaba la velocidad de funcionamiento– se habían eliminado las piezas mecánicas, salvo los conmutadores para controlar ciertas secciones de los circuitos empleados con fines de programación especiales, así que fue el primer computador electrónico digital para múltiples usos.

Una máquina de cómputo electrónica para propósitos especiales, llamada Colossus había sido desarrollada antes en Bletchley Park, al norte de Londres y estaba en operación en 1943. El Colossus fue diseñado para descifrar datos generados por los aparatos electromecánicos alemanes: la enigma y el geheimschreiber (el escritor secreto). Varios modelos diferentes se usaron antes del final de la Segunda Guerra Mundial.

Tanto el ENIAC como el Colossus usaban tubos, en vez de relés, como sus elementos lógicos activos. Esto dio como resultado el aumento sustancial en la velocidad de cómputo. El ENIAC era 1.000 veces más rápido que sus predecesores electromecánicos y podía ejecutar hasta 5.000 operaciones aritméticas básicas por segundo. En cuanto a su tamaño, era todavía más impresionante que la ASCC. Media 30 m de longitud y contenía no menos de 18.000 tubos. Como consumía más de 100 kW cuando estaba funcionando, la mera disipación del calor era un problema serio. No obstante, llevó los computadores a la importante región en que se podían abordar cálculos que de otro modo serían demasiado laboriosos para que valiera la pena embarcarse en ellos.

En el decenio de 1940 los ingenieros de computadores tropezaron de nuevo con el problema de que muchos cálculos implicaban la realización de la

misma secuencia de operaciones una y otra vez, y que había que hacer algo para que la máquina realizara esas operaciones rutinarias de forma automática. Así dedicaron mucha atención a la memoria de sus máquinas, con el fin de que se pudieran mantener almacenados programas ya preparados para su empleo en el momento requerido. Los ingenieros de computadores, en especial J. von Neumann del Instituto para Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton, reconocieron la importancia de la notación binaria en la realización de cálculos mecánicos.

El aparato sucesor del ENIAC en la Universidad de Pensilvania fue el EDVAC, Electronic Discrete Variable Automatic Computer (Computador Electrónico Automático Variable Discreto) donde se incorporaron las ideas de von Neumann, por lo cual era una máquina de diseño radicalmente diferente pues llevaba un nuevo tipo de dispositivo de memoria, basado en la circulación de pulsos sónicos generados por un largo tubo de mercurio. El EDVAC fue un computador de programa almacenado, en el cual las instrucciones se trataban lo mismo que los datos numéricos y eran almacenadas en la memoria. El concepto de programa almacenado llevó al desarrollo de programas de computador que se automodificaban, pues las instrucciones se podían manipular tan fácilmente como los datos con las posibilidades aritméticas de la máquina. El EDVAC no fue completado hasta 1950, pero un computador de diseño muy similar, el EDSAC, Electronic Delay Automatic Calculator (Calculadora Automática de Retardo Electrónico) en la Universidad de Cambridge, empezó a operar a principios de 1949 y puede haber sido la primera versión operativa de un computador con programa almacenado.

Debe recordarse que, a mediados de la década de 1940, von Neumann, junto con Arthur W. Burks y Herman H. Goldstine, habían hecho un reporte describiendo la idea del programa almacenado y su inclusión en el diseño de un computador; el de Princeton. Varios computadores como el ORDVAC, Ordnance Variable Automatic

Computer (Computador Automático de Órdenes Variables), el Whirlwind I y el IBM 701, se diseñaron después de acuerdo con lo propuesto en el reporte. En Gran Bretaña, en la Universidad de Manchester, se desarrolló en 1948 un dispositivo de memoria basado en tubos de vacío, que se incorporó a un cierto número de computadores construidos en Europa y Estados Unidos entre 1948 y 1956, fecha en que quedó anticuado.

Otros computadores electrónicos digitales notables, de primera generación, incluyen el UNIVAC I, Universal Automatic Computer, construido en 1951 por Eckert y Mauchly para la Oficina Federal del Censo de los Estados Unidos que funcionaba similarmente al EDVAC.

Hacia 1956 ya se había desarrollado un sistema de almacenamiento completamente nuevo, el núcleo magnético, debido especialmente a J. Forrester del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Se basaba en el hecho de que la dirección de magnetización de ciertos materiales conocidos como ferritas se podían invertir de manera fácil y prácticamente instantánea, dando una alternativa para la notación binaria. Las memorias de núcleos magnéticos fueron muy utilizadas hasta la década de 1970.

El sistema de memoria de núcleos magnéticos fue utilizado por primera vez en 1956 en el computador UNIVAC (modelo 1130A) de Remington - Rand. Además este UNIVAC empleaba cinta magnética en lugar de cinta de papel para la programación [14].

Segunda generación. Computadores transistorizados

La segunda generación de computadores empezó en 1959, cuando las máquinas que empleaban dispositivos semiconductores, conocidos como transistores, llegaron a estar disponibles comercialmente. El transistor había sido inventado en 1947, pero debieron pasar más de diez años de trabajo en su desarrollo para que fuera una alternativa viable del tubo de vacío; el pequeño tamaño del transistor, su mayor confiabilidad y el

relativamente bajo consumo de potencia, lo hicieron muy superior a aquél. Usando transistores en los circuitos de control, aritméticos y lógicos, junto con la mejora en la memoria de núcleo magnético, los fabricantes de computadores pudieron producir sistemas digitales más eficientes, pequeños y rápidos (hasta 100.000 instrucciones por segundo).

Tercera generación. Los circuitos integrados

A partir de 1964 los componentes electrónicos se miniaturizaron aún más, lo que dio como resultado avances dramáticos en la construcción de los computadores. La primera ruptura significativa fue la fabricación de circuitos integrados (IC); un dispositivo de estado sólido constituido por centenares de transistores, diodos y resistencias incluidos en una pequeña pastilla (chip) de silicio. El uso de los circuitos integrados permitió la construcción de computadores grandes de mayor velocidad, capacidad y confiabilidad, a menor costo. Su instauración también permitió a los ingenieros diseñar minicomputadores, máquinas suficientemente compactas como para ponerlas en un escritorio, pero con suficiente potencia como para controlar las operaciones de una fábrica pequeña o controlar los instrumentos de un laboratorio.

El siguiente desarrollo fue la integración a gran escala (large-scale integration, LSI), en 1969, que hizo posible empaquetar miles de transistores y dispositivos relacionados en un solo circuito integrado. Tal microcircuitería produjo dos dispositivos que revolucionaron la tecnología del computador. El primero fue el microprocesador, a menudo llamado “un computador en un chip”, que es un circuito integrado que contiene toda la circuitería de aritmética, lógica y control necesaria para servir como unidad central de proceso (central process unit, CPU); es decir, la parte del computador digital que interpreta y ejecuta instrucciones. Su desarrollo llevó a la producción de microcomputadores y terminales remotas inteligentes.

El grado de evolución y la creciente complejidad de los problemas por resolver en las áreas aviónica y aeroespacial, presentes hacia finales de los sesenta, saturaron muchos métodos de diseño. En respuesta, aparecieron sistemas de diseño asistido por computador y simuladores de diferente tipo. Como se ve, el procesamiento electrónico de datos nació en el sistema tecnológico precedente. Sin embargo, la nueva tecnología, representada por el microprocesador, rompió radicalmente con el pasado en cuanto a la capacidad de procesamiento y miniaturización.

El microprocesador, inventado en 1971, cambió todo de manera rotunda; desde entonces nada es igual en ninguno de los campos de la actividad humana. En esta minúscula pastilla de silicio se concentra el poder de procesamiento de miles de transistores, que constituyan los primeros computadores comerciales. Esto permitió la miniaturización de los componentes electrónicos. La tecnología de procesamiento electrónico de la información se hizo dominante.

La digitalización de las telecomunicaciones reforzó el vínculo entre las tecnologías de procesamiento y almacenamiento de información, lo que ocasionó el surgimiento de una importante tecnología complementaria, la teleinformática, mejor conocida como telemática, producto de la simbiosis entre telecomunicaciones e informática [15].

Los lenguajes de programación desarrollados para las máquinas de la tercera generación eran de fácil aprendizaje y por ello más personas podían aprender las habilidades de programación y aplicarlas a más funciones. Un avance de grandes proporciones en las máquinas de tercera generación lo constituyó la serie 360 de IBM.

A medida que el número de circuitos que podían ser fabricados en una sola pastilla de silicio aumentaba, disminuyó la necesidad de adoptar una tecnología diferente para la lógica y la memoria, con el resultado de que las memorias de semiconductor gradualmente reemplazaron las de núcleo magnético en los nuevos sistemas de computadores. La pastilla de la memoria de acceso alea-

torio (Random Access Memory, RAM) usada en la construcción de memorias de semiconductor fue el segundo dispositivo importante que emergió de la tecnología LSI.

Nuevas generaciones. Integración a muy grande escala

Los computadores de la década de 1980 a veces se denominan de cuarta generación, aunque su diferencia con los de tercera generación no es muy clara. Muchas de sus características distintivas son atribuibles a la integración en muy grande escala (very large scale integration, VLSI). Esta tecnología ha aumentado mucho la densidad de los circuitos del microprocesador, la memoria y los chips de apoyo. Mientras los circuitos con LSI contienen miles de componentes en una pastilla de silicio de menos de 5 mm cuadrados, un circuito con VLSI contiene centenares de miles de partes dentro del mismo espacio. La reducción en costo asociada con estos desarrollos ha sido el principal factor que posibilita la producción de computadores sencillos para usar en los hogares y las escuelas [16].

La informática o ciencia de la ingeniería de los computadores

En los países anglosajones se usa la expresión *Ciencia de los computadores* (Computer Science) de la misma manera que en otros países se usa la palabra *informática*. Ésta tiene origen francés y está formada por la contracción de los vocablos INFORmación y autoMÁTICA. La Real Academia Española la define como: “conjunto de conocimientos científicos y técnicos que hace posible el tratamiento de la información por medio de computadores”. Acá, información significa yuxtaposición de símbolos, con los que se representan convencionalmente hechos, objetos e ideas [17].

Aunque el trabajo inicial que indicaba las potencialidades del cálculo automático data de la década de 1930, la informática tomó forma al principio de la década de 1960. Fue sólo con el rápido

desarrollo del computador digital y el consiguiente estímulo de la investigación, que los estudios de computador se consolidaron en una disciplina científica y tecnológica.

La historia de la informática está ligada al desarrollo de los computadores, desde el ábaco hasta los modernos sistemas expertos. El matemático inglés George Boole extendió el alcance de la informática, más allá de sus limitaciones previas, a cálculos numéricos. Boole expandió el trabajo de Leibniz al desarrollar un método “en el cual todas las verdades de la razón se redujeran a una especie de cálculo”. En 1847 y 1854 Boole publicó demostraciones de que las proposiciones de la lógica se pueden expresar con un conjunto de reglas matemáticas conocidas ahora como álgebra booleana. El álgebra booleana es una base fundamental de la informática: su influjo directo en el diseño de la circuitería del computador digital empezó en 1938, cuando el matemático estadounidense Claude Shanon señaló que el comportamiento de la comutación de circuitos, que sólo tiene dos señales (prendido y apagado) se podía expresar con álgebra binaria.

En 1931, el matemático austriaco Kurt Gödel probó que todos los sistemas matemáticos suficientemente poderosos son inherentemente incompletos, porque en tales sistemas existen teoremas que no se pueden probar o rebatir usando el sistema solamente. Gödel también demostró que todos los símbolos se pueden codificar como enteros no negativos; así codificada, una prueba matemática se puede tratar como otra operación que incluya enteros.

El matemático británico Alan Turing continuó el trabajo de Gödel mientras dirigía sus esfuerzos a la creación de un autómata que pudiera determinar si un predicado matemático era demostrable. En 1936 concibió un aparato abstracto de cómputo, conocido ahora como la máquina universal de Turing. También en 1936 los matemáticos estadounidenses Alonzo Church, Stephen Kleene y Emil Post, independientemente, introdujeron ingenios simbólicos de computación, equivalentes en capacidad a la máquina de Turing.

Todas estos aparatos mentales eran capaces de manejar las mismas clases de funciones, entendidas ampliamente como la clase de problemas solubles. Esto da credibilidad a la propuesta conocida como tesis de Church, de que todos esos modelos en realidad determinan los amplios límites de la computación automática.

Con los desarrollos del computador digital y las herramientas de programación, en lo teórico y lo práctico, la informática se erigió como una disciplina académica al principio de la década de 1960. Los primeros departamentos de informática se establecieron en 1962 en las universidades de Stanford y de Purdue.

La informática se divide en varios campos especializados, como la síntesis y el análisis de algoritmos, la teoría de la computación, la arquitectura de computadores, los lenguajes de programación, la metodología, los sistemas operativos, los sistemas de bases de datos, el cálculo numérico y la inteligencia artificial.

La informática está íntimamente relacionada con otras disciplinas del conocimiento. Aunque es principalmente empírica, sus bases son la matemática y la lógica. La informática proporciona a otras ciencias herramientas intelectuales, además del *software* y del *hardware*; es decir, técnicas de pensamiento orientado a procesos. Muchos de los avances en física, biología, química, matemáticas, ecología, educación, ingeniería y medicina, por no mencionar sino algunos campos, se deben a las posibilidades que brinda la informática.

Por último, hay que resaltar que una de las contribuciones de la informática, la inteligencia artificial, ha promovido la emergencia de una ciencia cognitiva que tiene que ver con problemas del conocimiento, entendimiento, inferencia y aprendizaje.

Algunas aplicaciones de los computadores

Es muy difícil indicar las principales aplicaciones de los computadores por la manera como han

invadido todos los aspectos de la vida cotidiana. Aquí solamente se indican algunos campos importantes: control, comunicaciones, diseño e inteligencia artificial.

Control

El computador ha demostrado ser altamente efectivo en aplicaciones donde se emplea para ajustar el desempeño de un sistema sin intervención humana. Hay miríadas de tales aplicaciones, como el control de procesos en las industrias. Sus variantes y posibilidades son tantas, que sería imposible resumirlas en este corto espacio. Lo mismo puede decirse del control de los sistemas de transporte, sea para el tráfico aéreo, el control de trenes o las centrales de despacho de buses, taxis o camiones. En la investigación científica los controles son indispensables en muchos equipos, como aceleradores de partículas, microscopios electrónicos y radiotelescopios, lo mismo que en instrumentos sensibles, como los usados en los hospitales.

La disponibilidad de computadores baratos ha dado lugar a muchas clases de productos corrientes controlados por microprocesadores, como los hornos de microondas programables, los televisores y equipos de sonido de control remoto y las cámaras con autoenfoque. Lo mismo puede señalarse de los sistemas computarizados de inyección en los vehículos, el control de los accesos a equipos y recintos y otros. Esto sin hablar de las aplicaciones militares.

Comunicaciones

Las aplicaciones en comunicación incluyen la adquisición, análisis, organización, almacenamiento y diseminación de la información con computadores. También incluye el uso de computadores digitales para controlar instalaciones, como las centrales telefónicas y estaciones de microondas para comunicaciones por satélite.

Las instituciones públicas, incluidas las encargadas de la ley, se apoyan fuertemente en los computadores para mantener enormes archivos de datos. En la educación, los computadores han

dado origen a la edumática. En el mundo financiero la transferencia electrónica de fondos y otros sistemas de comunicación han transformado el sector.

Simulación

La simulación es la representación imitativa del comportamiento de un sistema (real o postulado) mediante otro sistema; en este caso un modelo basado en el computador. Los principales objetivos de este proceso son la comprobación de hipótesis y el diseño o experimentación con sistemas que puede no estar disponibles para la observación directa o la experimentación. Esto proporciona flexibilidad, porque es más fácil, menos costoso y más seguro cambiar una representación de un sistema que el sistema mismo. Las modificaciones se pueden anticipar durante el diseño del modelo y completar en varias corridas de un sistema de simulación por computador.

La simulación se ha usado en, prácticamente, todos los campos de la actividad, desde la experimentación en ciencias naturales y matemáticas, hasta los procesos industriales, la medicina, los fenómenos socioeconómicos y los procesos mentales.

Diseño

Otra aplicación altamente productiva de los computadores es su uso en el trabajo de diseño. Comúnmente denominado diseño asistido por computador (CAD, computer aided design) ha llegado a ser muy importante en ingeniería.

En algunos sistemas, el proceso CAD se integra con la manufactura asistida por computador (CAM), el otro componente de lo que ahora se conoce como ingeniería asistida por computador (CAE). Combinando las operaciones de diseño y manufactura, el sistema CAE aumenta significativamente la productividad y reduce el tiempo requerido para desarrollar nuevos productos.

Inteligencia artificial

Desde la década de 1950 se hicieron esfuerzos para componer música y crear arte visual con el computador. Los trabajos producidos de esa manera reflejaban el ingenio de los individuos que programaban los computadores; sin embargo, no se podían considerar manifestaciones de ningún genio creativo por parte de las máquinas mismas. Los computadores son proficientes en la demostración de teoremas, juegos de ajedrez y otras tareas muy lógicas. Su éxito en estas actividades se atribuye en parte a la habilidad para manipular información simbólica a velocidades extremadamente amplias y en parte a mejor comprensión del acto mismo de razonar.

Una buena definición de inteligencia artificial (IA) es muy elusiva, simplemente porque la inteligencia humana no se ha entendido del todo. ¿Es la habilidad de razonar? ¿Es la habilidad de adquirir y aplicar conocimiento? ¿Es la habilidad de manipular y comunicar ideas? Sin duda todas esas habilidades hacen parte de lo que es inteligencia, pero no son la totalidad de lo que puede decirse. En realidad, una definición en el sentido usual parece imposible, porque la inteligencia es una amalgama de muchos talentos de procesamiento y de representación de la información. En general, se puede decir que los objetivos principales de la inteligencia artificial son hacer los computadores más útiles y entender los principios que hacen posible la inteligencia. Hay muchas definiciones de IA, cada una de las cuales hace énfasis en diferentes perspectivas de acuerdo con el interés de quien la formula. Sin embargo, una buena definición podría ser la siguiente:

Inteligencia artificial es el campo de estudio que comprende técnicas computacionales para llevar a cabo tareas que aparentemente requieren inteligencia cuando son realizadas por seres humanos. Tales problemas incluyen el diagnóstico de problemas en aparatos, computadores y personas, el diseño de nuevos computadores, la escritura de historias y sinfonías, el hallazgo de teoremas matemáticos, el ensamble e inspección de productos

en las fábricas y la negociación de tratados internacionales. Es una tecnología de procesamiento de la información, relacionada con el proceso de razonamiento, aprendizaje y percepción.

Como se ha señalado, los computadores son excelentes para realizar tareas simples y repetitivas, como los cálculos aritméticos complejos y el almacenamiento y recuperación de bases de datos. Lo que estas tareas repetitivas tienen en común es que son de naturaleza algorítmica; esto es, involucran un conjunto de instrucciones diseñadas de manera precisa y lógica, que proporcionan una sola respuesta correcta. Los humanos, por otra parte, son excelentes en la solución de problemas que usan símbolos más que números, como cuando establecen un plan de trabajo o entienden un poema. La IA, en términos más específicos, es la ciencia que proporciona a los computadores la habilidad de representar y manipular tales símbolos, de modo que se puedan usar en la solución de problemas que no son fácilmente solubles con modelos algorítmicos.

El concepto de inteligencia artificial fue acuñado por John McCarthy en 1956, durante un taller que organizó en Dartmouth College. Esta Conferencia de Dartmouth reunió a John McCarthy, Marvin Minsky, Alan Newell y Hebert Simon, cuatro individuos que fueron pioneros de la investigación sobre IA. Aunque el evento se considera el nacimiento de la IA, lo cierto es que ésta es muy antigua y que su investigación ya estaba en marcha antes de esa fecha. Después de la reunión, la investigación se fortaleció en los centros académicos del mundo.

El énfasis inicial de la IA fueron los juegos y las máquinas que traducían lenguajes naturales. Sin embargo, pronto surgieron otras áreas, como los sistemas basados en el conocimiento, el entendimiento de idiomas, el aprendizaje, la planeación, la robótica, la visión y las redes neuronales [18].

Como el objetivo es hacer los computadores más útiles, los científicos e ingenieros de computadores necesitan conocer cómo la IA puede ayu-

darles a resolver problemas difíciles. Y como otra meta es entender mejor la inteligencia general por sí misma, los sicólogos, filósofos, lingüistas y otros profesionales que quieren entender la inteligencia humana también necesitan conocer y evaluar lo que se aprende.

Los computadores pueden hacer pruebas de inteligencia de analogía geométrica. Pueden aprender, pueden entender dibujos simples, pueden entender idiomas simples, pueden resolver problemas expertos, hacer trabajo industrial útil y modelar procesos sicológicos [19].

Líneas centrales en la investigación de la IA son: saber más acerca del cerebro humano, enseñar al computador cómo entender el lenguaje natural y ampliar la gama de la utilidad del computador en la solución de problemas.

El cerebro humano es la entidad más compleja conocida. También es el único fenómeno natural capaz de procesar cualquier tipo de información. Ya que el computador es la única máquina que tiene esta habilidad, los científicos creen que un modelo por computador del cerebro puede enseñar más acerca de la forma en que el cerebro funciona. Tal modelo también resultaría útil para enseñar al computador a procesar información por medio de reglas prácticas o heurísticas, como lo hacen los seres humanos, en vez de realizarlo tan sólo basándose en la lógica, como suelen hacerlo los computadores.

Además de enseñar a los computadores cómo comprender el lenguaje cotidiano que utilizan los humanos, la mayor parte de la investigación sobre IA se dedica al desarrollo de técnicas de solución de problemas que supera la gama de los métodos algorítmicos normales usados por los computadores. Otras técnicas de IA incluyen la participación en juegos y en mejorar la capacidad para reconocer patrones recurrentes de todo tipo, ya que esta capacidad constituye importante elemento en la planeación y la predicción.

Por último, la investigación en IA se ocupa del desarrollo de técnicas de programación automá-

ticas para programas largos y complicados. Es decir, que los computadores establezcan un programa, sin más información que el objetivo de éste, y por medio de un proceso denominado carga inicial lo usen para escribir otro todavía más inteligente [20].

Automatización y robótica

La automatización industrial combina la electrónica, la electrotecnia, la mecánica y la informática para crear sistemas que puedan emplearse en procesos repetitivos, de alto riesgo o precisión, haciéndolos más eficientes, flexibles, confiables y rentables.

Las máquinas y plantas industriales son controladas por elementos que cumplen funciones de adquisición de datos, procesamiento de la información recibida, enlaces de comunicaciones, interfaz hombre-máquina, supervisión y manejo del suministro de potencia. En ellas se tiene la posibilidad de incluir técnicas, como la visión y la inteligencia artificial, redes neuronales, sistemas con aprendizaje, lógica difusa y robótica, según el grado de exigencia que requiera la aplicación.

La automatización industrial implica, necesariamente, un aumento en el grado de especialización en las tareas dentro de la producción y los servicios. A partir de situaciones como éstas las transformaciones económicas condicionan el comportamiento de los grupos sociales, las características propias del país y las relaciones internacionales [21].

Un robot es un dispositivo automático que puede ser controlado por computador y responder a comandos provenientes de éste para efectuar alguna acción. Es un hecho físico y objetivo capaz de producir trabajo muy calificado. La robótica es una de las aplicaciones más útiles e importantes de la inteligencia artificial y en menos de treinta años pasó de ser un mito, propio de la imaginación de autores literarios, a una realidad imprescindible en el actual mercado productivo [22].

La robótica se ha convertido en un fecundo campo de trabajo interdisciplinario, en la cual concu-

rren disciplinas básicas y tecnológicas como la teoría de control, la mecánica, la electrónica, el álgebra y la informática, entre otras.

No existió un dispositivo semejante a un robot antes de 1959, aunque los antiguos fueron muy aficionados a las estatuas móviles y los títeres. En el siglo XVII se produjeron no sólo los primeros relojes, sino los primeros autómatas con apariencia de vida y mecanismos internos de relojería. Sin embargo, la palabra *robot* es una forma truncada de una palabra checa y polaca *robota*, que significa esclavitud o trabajo forzado. Robota se relaciona en cierta manera con la palabra alemana *arbeit* (trabajo) ya que desciende de una raíz común sánscrita. Pero la forma abreviada, conocida por todos, la acuñó el dramaturgo checo Karel Kapek, en su obra *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*, publicada en 1923 y presentada tanto en Estados Unidos de América como en Inglaterra en el mismo año.

En *R.U.R.*, un robot es una persona fabricada en forma artificial que posee inteligencia mecánica pero carece de alma. Rossum es un científico que ha desarrollado cierto número de seres mecánicos para liberar a la humanidad del trabajo. Sin embargo, unas personas traicionan al científico y desean utilizar los robots en la guerra, para la matanza de los seres humanos. Con el tiempo, alguien irresponsable dota a los robots de sentimientos e inteligencia; estos deciden que son superiores a los seres humanos y matan a todos en la Tierra.

La obra de Kapek es acerca de temas sociales y éticos y no sobre robots, que no existían cuando la escribió. Sus robots son símbolos. Pero este es el camino por el que la palabra entró al lenguaje, completada con las implicaciones siniestras que conserva hasta nuestros días. Como se verá, esta reputación en realidad no tiene fundamento.

El término robot hubiera caído en desuso si no hubiese sido por los escritores de ciencia-ficción, especialmente Isaac Asimov (1920-1992) el máximo impulsor de la palabra robot. En 1942

publicó en la revista *Galaxy Science Fiction* una novela que por primera vez enunció sus tres leyes de la robótica, complementadas con una cuarta en 1985.

1. Un robot no puede lastimar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que esta sufra daño.
2. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con su inacción permitir que un humano sufra daño.
3. Un robot ha de obedecer las órdenes recibidas de un ser humano, excepto si tales órdenes entran en conflicto con las leyes anteriores.
4. Un robot debe proteger su propia existencia mientras tal protección no entre en conflicto con las anteriores leyes.

Se atribuye a Asimov la creación del término robótica y, sin lugar a duda, con sus obras contribuyó a divulgarla.

El trabajo experimental en la construcción de robots empezó en la década de 1940 y continuó hasta la de 1950, impulsado por la necesidad de la Atomic Energy Commission de Estados Unidos de América de disponer de manos mecánicas que manejaran materiales radiactivos. En 1948 fue desarrollado el primer telemanipulador, por R.C. Goertz del Argonne National Laboratory, y en 1954 se hizo uso de la tecnología electrónica y el servocontrol, sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica y desarrollando así el primer telemanipulador con servocontrol bilateral. Fueron estas investigaciones las que permitieron la construcción de robots industriales. La sustitución del operador por un programa de computador que controlase los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot.

George C. Devol, ingeniero estadounidense, inventor y autor de varias patentes, fue quien estableció las bases del robot industrial moderno. En 1954, Devol concibió la idea de un dispositivo de *transferencia de artículos programada*. En 1956 puso esta idea en conocimiento de

Joseph F. Engelberger, ávido lector de Asimov y director de ingeniería de una empresa aeroespacial. Juntos, Devol y Engelberger comenzaron a trabajar en la utilización industrial de sus máquinas, para lo cual fundaron una empresa inicial que luego se convertiría en Universal Automation (Unimation). Tales robots, producidos por Unimation Inc, aparecieron por primera vez en el mercado en 1959, y la empresa instaló su primera máquina Unimate –en 1960– en la fábrica General Motors de Trenton, Nueva Jersey, en una aplicación de fundición por inyección [23].

El trabajo de laboratorio en robótica continuó en las décadas de 1960 y 1970, conforme los científicos de la computación, al aplicar lo que se conocía de inteligencia artificial, intentaban hacer robots más completos e inteligentes. Tal vez uno de los más conocidos robots de laboratorio sea Shakey, desarrollado a fines de la década de 1960 en Stanford Research Institute. El proyecto Shakey se concluyó en 1973.

En 1968, J. F. Engelberger visitó a Japón y poco más tarde se firmaron acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. El crecimiento de la robótica en Japón aventajó en breve a la de los Estados Unidos gracias a Nissan, que formó la primera asociación de robótica del mundo, en 1972.

En Europa, la robótica empezó en Suecia en 1973, cuando ASEA construyó el robot Irb6 y en 1980 se fundó la *Federación Internacional de Robótica*, con sede en Estocolmo.

Las configuraciones de los primeros robots respondían a las llamadas esférica y antropomórfica, de uso especialmente válido en la manipulación. En 1982 el profesor Makino, de la Universidad Yamanashi de Japón, desarrolló el concepto de robot SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot*) que busca un robot con un número reducido de grados de libertad (3 ó 4), un coste limitado y una configuración orientada al ensamblaje de piezas. También en 1982, la gran compañía Westinghouse adquirió a Unimation y empezó a producir robots de todas las clases.

En fin, cuando alguien oye la palabra robot se imagina un humanoide como los de la película *La Guerra de las Galaxias*. Sin embargo, este tipo de robots seguirá relegado a la ciencia-ficción y las películas, a menos que haya avances impensables en muchas áreas, como la inteligencia artificial, los computadores y los aparatos almacenadores de energía. Por ahora, los robots importantes son los de uso industrial, los cuales son manipuladores multifuncionales programables con varios grados de libertad, capaces de manejar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias programadas para realizar tareas diversas [24].

La Federación Internacional de Robótica clasifica los robots industriales por generaciones:

- 1^a. Generación: repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones de su entorno.
- 2^a. Generación: adquiere información limitada de su entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar y detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos en consecuencia.
- 3^a. Generación: su programación se realiza mediante el empleo de un lenguaje natural. Posee capacidad para la planificación automática de tareas.

La robótica, en general, es un área de investigación y desarrollo que avanza todos los días; sin embargo, es difícil que alcancemos a conocer los robots humanoides [25].

Las redes de computadores

La fusión de las tecnologías de computadores y comunicaciones electrónicas ha producido las redes de computadores. La proliferación de computadores confiables y económicos y los avances concomitantes en la programación han dado como resultado las redes, que se han desarrollado en todos los niveles, desde las locales hasta las internacionales como Internet.

La primera descripción, documentada, de interacciones sociales que se pudieran realizar

en red fue una serie de memos escritos por J. C. R. Licklider del MIT, en 1962, discutiendo el concepto de *Galactic Network*. Él vislumbró un conjunto interconectado globalmente, a través del cual todo mundo pudiera tener acceso a datos y programas desde cualquier lugar; en su concepción era muy parecido al Internet de hoy. Licklider fue el primer jefe del programa de investigación en computadores DARPA, del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, que empezó en octubre de 1962, y en éste convenció a sus sucesores, Ivan Sutherland, Bob Taylor, y al investigador del MIT, Lawrence G. Roberts, de la importancia de la red.

El propósito del proyecto DARPA era el de desarrollar un sistema de comunicación que pudiera mantener en contacto a los altos cargos militares de Estados Unidos después de un ataque militar. Para lograr esto, era indispensable que tal sistema estuviera completamente descentralizado.

En 1965, y basado en los conceptos sobre redes empaquetadas de Leonard Kleinrock, Roberts, trabajando con Thomas Merrill, conectó un computador en Massachusetts con otro en California; luego, en 1966, en el proyecto DARPA basó su plan ARPANET y lo presentó en 1967, en una conferencia donde conoció a otros investigadores ingleses que trabajaban en la misma dirección. En 1969, se conectaron cuatro computadores en el ARPANET inicial y así arrancó Internet. Desde entonces se trabaja en mejorar la red y en cómo utilizarla. Más computadores se agregaron a ARPANET, la que se presentó en la International Computer Communication Conference en octubre de 1972.

ARPANET consistía en la conexión de cada computador, mediante cables transportadores de datos a alta velocidad, con otros computadores o "vecinos". En esta red, cuando el computador A quiere enviar un mensaje al computador B, divide dicho mensaje en "paquetes". Cada paquete se envía al computador vecino C con una nota que indica la "dirección" de B. El computador C elige la mejor ruta disponible hacia B y luego envía

el mensaje. Si el computador C desaparece, A intenta enviarlo a otros vecinos. En este sentido cada paquete se lanza dentro de la red, y se deja que “navegue” hacia su destino.

Este procedimiento tiene importantes consecuencias en el mundo real, cuando se trata de controlar la información disponible en Internet. Cualquier tipo de censura es interpretado por Internet como una avería y el sistema intentará corregirlo. Los obstáculos son evitados y los mensajes desviados. El principio básico es que el mensaje se transmitirá de todos modos.

ARPANET creció hasta convertirse en Internet, las bases tecnológicas de su estructura escapan a los propósitos de este trabajo, pero lo cierto es que continuó mejorando en todos los sentidos y en 1985 Internet era una tecnología bien establecida que apoyaba una amplia comunidad de investigadores y desarrolladores de software, y empezaba a ser usada por otras personas para la comunicación diaria entre computadores. Este cambio de unos pocos usuarios con un modesto número de *servidores* de tiempo compartido (modelo inicial de ARPANET) a uno con muchas redes, dio como resultado un buen número de conceptos nuevos y a cambios en la tecnología.

Un movimiento mayor ocurrió cuando se aumentó la escala de Internet y surgió la cuestión de su administración. Para facilitar el uso de la red, a los servidores se les asignaron nombres, de modo que no era necesario recordar las direcciones numéricas. Para ello, Paul Mockapetris inventó el Sistema de Dominio de Nombres (DNS), que permitió tener un mecanismo de distribución escalable para resolver los nombres jerárquicos de los servidores (p.e. www.acm.org) en una dirección de Internet. El aumento del tamaño de Internet también desafió las capacidades de los enrutadores, que debieron ser mejorados [26].

Internet se extendió con tal rapidez porque es un sistema abierto. El modo en que está diseñado conecta sistemas informáticos dispares y ha sido en gran medida gratuito en el lugar de uso.

Día a día Internet ha progresado en tecnología y cubrimiento, llegando a ser lo que es: un ciberespacio. En las dos décadas que lleva de existencia, Internet ha cambiado mucho, desde los grandes computadores de tiempo compartido hasta los computadores personales; ahora se habla de permitir el acceso a Internet desde teléfonos celulares, computadores portátiles y otros aparatos manuales, lo que se denomina la red sin alambres [27]. Las posibilidades y proyectos que hay para la red son de tal magnitud que no se discutirán acá [28].

En todo caso, Internet es apenas la primera fase de una profunda transformación del modo de relacionarse y en la economía del mundo de los negocios, favorecida por el bajo costo de la inteligencia de la red, de la expansión del ancho de banda y de la aparición de nuevas arquitecturas de servicios y modelos de negocios. En resumen, la red está revolucionando nuestras vidas ante nuestros propios ojos [29]. Millones de personas descubren que su entorno laboral (e incluso su tiempo de ocio) ha cambiado de tal manera que resulta irreconocible. La cultura de la *comunicación por computador* ha pasado a formar parte de la vida cotidiana. Con el desarrollo de software multimedia, texto, sonido y video han pasado a formar parte de un todo: los usuarios pueden pulsar el ratón y ver el trailer de una película y escuchar música simultáneamente. Este nuevo medio interactivo ha atraído a una nueva audiencia en rápido crecimiento a través de la *World-Wide Web* (WWW) [30].

Conclusiones

Dado que el computador se ha convertido en una fuerza omnipresente en los asuntos humanos, la informática desempeña un papel creciente en la manera como la gente trabaja, vive su vida privada, organiza sus actividades en sociedad y, hasta cierto punto, como se percibe a sí misma. Esto, porque las tecnologías de representación determinan la manera en que el mundo físico se aprehende, describe y clasifica. Con otras palabras, nuestro conocimiento de “cómo es el mun-

do”, se encuentra formado por las tecnologías de representación involucradas en nuestra, aparentemente neutral, observación del mundo [31]. El ubicuo microprocesador y la creciente combinación de computadores, telecomunicaciones y grandes bases de datos, están cambiando la composición de la vida en las sociedades industrializadas. La cultura se transforma, se convierte en una *cultura tele*, entendiendo por ésta a todos los procesos de la tele-tecnología que han ido desprendiendo a las memorias y a las formas de transmisión de los signos de la cultura de sus soportes biológicos y étnicos y, por tanto, de sus territorialidades y temporalidades restringidas.

Desde la escritura y el desprendimiento de la palabra del cuerpo hasta la *realidad virtual*, las culturas han ganado en extensión pero siempre las ha bordeado la sombra de que algo –lo natural, lo real– desaparecía con ello. Por esta razón, a la cultura tele la acosan hoy más que nunca los espectros de una invasión desencadenada de los simulacros, a medida que entra en las ilusiones de la virtualidad y de su expansión planetaria. Emergen nuevas formas de la tecnología que crean nuevos mundos y realidades inmateriales: el mundo como imagen, como signo o como entidad digitalizada. Pero también mundos inmateriales que sólo existen en los nuevos imaginarios tecnológicos [32].

Cuando hablamos de cultura podemos referirnos a sus múltiples contenidos o también a las maneras como los acontecimientos se cristalizan en formas de signos transmisibles. Aquí interesan los marcos conceptuales bajo los cuales se produce la transmisión. Desde las culturas nómadas hasta nuestra actual situación de la llamada galaxia electrónica, los signos han ido despojándose poco a poco de sus referencias iniciales y del peso de su materialidad. La cultura tipográfica logró la serialidad del libro y la posibilidad de una planetarización sin precedentes de los contenidos culturales; con ella, las costumbres, el espacio, el tiempo, el lugar y el sensorio del hombre tipográfico se transformaron radicalmente, dando lugar a un nuevo ser para el

mundo moderno. Esta planetarización sin embargo era aún muy pesada. Se vio que Leibniz fue un precursor del mundo digitalizado gracias a la creación de un nuevo universo de símbolos abstractos, sin cuerpo, sin patria, sin territorio: signos universales que podrían ser compartidos por toda la humanidad. Esta álgebra binaria, desarrollada posteriormente por Boole y otros lógicos y matemáticos, ya sabemos que fue definitivamente aplicada por von Neumann en el computador en Princeton. Desde ese momento, el desarrollo de una cultura digitalizada se ha ido incrementando progresivamente y hoy constituye uno de los marcos conceptuales más importantes de nuestro mundo [33].

De otro lado, la informática ha influido en toda la familia de las disciplinas científicas. El trabajo en este campo ha llevado al desarrollo de herramientas que tienen el potencial de expandir la metodología de la ciencia.

Los computadores, particularmente cuando están combinados con la tecnología de las comunicaciones, han hecho posible manejar la vasta cantidad de información que es necesaria para aumentar la eficiencia de la producción, la administración y el gobierno. Lo que a veces se denomina “revolución de la información” es hacer fructificar las ventajas de la mecanización iniciada por la primera revolución industrial.

La industria se ha transformado debido al reconocimiento de que, desde el diseño hasta la producción, los procesos de manufactura son actividades intensivas en información. Haciendo explícitos los flujos de información y organizando redes de computadores para manejarlos, ha aumentado la productividad en oficinas y fábricas.

El descubrimiento del vapor y de los principios de la electricidad hicieron desaparecer el instrumento, que se sujetaba con las manos, en provecho de la palanca cuyo manejo ponía en marcha ruedas, bielas, motores y grúas. A este respecto el automóvil, aún repleto de volantes, palancas y pedales, es una supervivencia de este período que no ha caducado del todo. Pero en general se

impone el mundo de los botones y de los dedos. Las inmensas salas de control de las grandes fábricas automatizadas se controlan con la punta de los dedos, al igual que los microcomputadores que invaden poco a poco los hogares. La mano, que servía para sujetar el instrumento, que permitía saludar a los amigos con un apretón fuerte o flojo, sudada o seca, pero tan reveladora, cede cada vez más el sitio al dedo universal, que en una sola presión desencadena la producción de megavatios, la iluminación de una ciudad o la aparición de una música suave. Todo será más suave, pues una parte de las fuerzas de la naturaleza obedecerá a nuestro dedo y a nuestro ojo. Lo tendremos todo en la punta de los dedos: todo el saber humano tecleando en la consola o haciendo clic en un “ratón”, toda la vida doméstica apretando las teclas de los robots [34].

La automatización y las nuevas tecnologías, se espera, elevarán las condiciones de vida por cuanto permiten el aumento de la productividad y la eficacia empresarial. La nueva razón de ser de la economía sería el bien común. Los efectos culturales de esta nueva situación traerían el fortalecimiento del sentido de la vida, de la autoestima y de la convivencia ciudadana, al menos en cuanto alternativa real.

El uso del tiempo libre pasaría de ser desgracia social, a emplearse en el crecimiento personal. Hoy, la reducción de la jornada de trabajo y la mano de obra cesante generan desilusiones que se ahogan en los vicios, las extravagancias y las sicopatías. No hay otra opción social para emplear la fuerza laboral en el trabajo comunitario, por cuanto éste no es individualmente rentable para los empresarios, aunque sí lo sea para la sociedad, cuando menos al disminuirse la delincuencia y los costos que ésta produce en su control, en policlínicas y en sistemas carcelarios. Pero el beneficio real sería la utilización creativa de este potencial humano. La futura sociedad traería nuevamente valores al no excluir a las personas de las posibilidades de su crecimiento individual.

La vida se está transformando de una manera rápida, las pesadas tendencias de la evolución ocultan, tal vez, algunas gigantescas mutaciones que somos incapaces de percibir e imaginar, pues estamos aferrados a la vida cotidiana. El indígena americano resistía como podía los asaltos de los conquistadores, viéndolos destruir sus templos y su orfebrería, y creía asistir al fin de toda cultura y toda vida: estaba muy lejos de imaginar la aparición de las catedrales católicas y los castillos y murallas hispánicas. No obstante, eso era lo que estaba en juego.

¿Acaso nos encontramos en una situación parecida? Las necesidades del momento, los cambios perceptibles, ¿acaso no nos ocultan algunos comportamientos, poco visibles porque están poco difundidos, que mostrarán ser (¿más tarde?, ¿demasiado tarde?) los auténticos signos precursores de las mutaciones? Las bondades de la sociedad de la información, si es que ésta llega a generalizarse algún día, no residen en absoluto en algunos usos pioneros de tecnologías por parte de los grandes manipuladores de la microinformática, residen en el uso democrático de éstas.

Se tiene una excesiva tendencia a pensar sólo en los “grandes” actores: estado, empresas, instituciones e, incluso, asociaciones de consumidores. El cambio y la innovación social parece como si sólo pudieran venir de arriba, de la experimentación institucional, del poder político. Pero los pequeños actores cotidianos, los usuarios individuales de las nuevas tecnologías también tienen un papel que desempeñar, pues disponen de un margen de libertad.

¿Hasta qué punto se pueden dirigir, controlar y hacer que redunden en beneficio de toda la sociedad el desarrollo de la tecnología informática y su incidencia cada vez mayor en todas las áreas vitales y laborales? ¿Aumentará con ese desarrollo la posibilidad de un más justo y equitativo acceso a la información o, por el contrario, se traducirá en mayor concentración de poder y de control? ¿Qué consecuencias negativas pueden derivarse de aquí para el individuo y para los dis-

tintos grupos sociales en su actuación política, social, económica y laboral? Este impacto puede afectar también el comportamiento y relaciones, en el ámbito nacional e internacional, incluso de grandes organizaciones estatales y privadas [35].

No es fácil decir si la próxima sociedad será la del tiempo libre o será una con mayor número de desempleados y más pronunciado desnivel social; en la actualidad ésa es la realidad que se advierte. Y lo mismo puede decirse de las diferencias entre los países. En cuanto a la cultura, el principal efecto es su propagación; las nuevas técnicas de difusión tienen repercusiones en la cultura no sólo en su popularización sino en la controversia de si el carácter será nacional o supranacional. La desaparición del folklore como resultado de la internacionalización es un hecho que puede mirarse desde diversos ángulos, pero lo esencial es saber qué contenido nuevo sustituirá al folklore, qué intereses representará y qué estilo de vida propagará. Hasta ahora, sólo se ve que la desinformación sigue los dictados de la sociedad de consumo. Además, la propagación de la cultura cambia las pautas personales y su carácter social.

Mientras los computadores permanecieron como instrumentos de la comunidad científica, los problemas éticos que de éstos emanaban estuvieron confinados a los ocasionales debates dentro de esta comunidad. Pero una vez puestos a disposición general, como un instrumento para la ubicación y recolección de datos financieros, médicos, legales y personales, los computadores y sus intrínsecos problemas éticos se han convertido en un punto de preocupación e interés general.

Los asuntos éticos que giran alrededor de los sistemas de computadores pueden dividirse en varias categorías: la privacidad, la centralización o descentralización del poder, las responsabilidades legales de funcionamientos incorrectos de la programación, así como los derechos de propiedad de los programas. Pero hay otras preguntas que tienen que ver con la capacidad de decisión de los computadores. Algunos de estos sistemas

están siendo utilizados para hacer diagnósticos médicos, para analizar patrones de mercado, y para decidir a qué personas deberían extender préstamos las instituciones financieras. Con su desarrollo, otros sistemas de toma de decisiones ocuparán su puesto en nuestra vida cotidiana. Es muy posible que en estas áreas nos estemos confrontando con algo enteramente nuevo, algo para lo que las viejas pautas éticas no están preparadas [36].

Un tema candente es el de los bancos de datos y de la privacidad, y lo que eso significa en la pérdida de control sobre la información personal. Esto de hecho da como resultado un mayor control de los gobiernos sobre las personas, de un modo que ni Orwell imaginó [37]. Constituyen grandes problemas éticos las cuestiones relacionadas con el mantenimiento actualizado y preciso de la información, y con la provisión de formas para la identificación y corrección de la información inexacta, lo que ha afectado profundamente la vida de personas y comunidades, puesto que la privacidad es una cuestión cultural.

Un problema general de los computadores es que distancian a la gente del trabajo que hacen y son barreras para percibir a las personas a quienes sirven. Este distanciamiento facilita el relajamiento de la conducta ética y es un problema general de la tecnología: su capacidad de actuar de manera impersonal, manteniendo una apariencia de imparcialidad, que se torna provocativa y aceptable, destruyendo con su fascinación las individualidades, prerequisito para una relación con el mundo espiritual. La obsesión por la comodidad en las sociedades de consumo distorsiona los valores morales, la relación con otras personas y conduce, finalmente, a un empobrecimiento de la propia existencia.

Pero, sin duda, el problema ético central de los computadores está planteado por los sistemas de toma de decisiones. Los sistemas basados en conocimientos, los sistemas expertos y los sistemas de redes neurales, operan con varios tipos de información, incluyendo información sobre decisiones pasadas tomadas bajo circunstancias

similares. Los sistemas expertos están basados en reglas y es posible incorporar algún tipo de base ética en esas reglas. "Ya se han programado computadores con diferentes códigos éticos y doctrinas religiosas, de forma que son capaces de dar 'consejos' apropiados a las personas que soliciten su ayuda dentro de una determinada tradición".

El problema es más complejo con las redes neurales, que no se basan en reglas, donde al sistema se la da un modelo y varias *entradas* ponderadas de manera distinta. Se hace un juicio de qué *entradas* se asemejan más fielmente al modelo deseado y se produce una *salida* simple. Es difícil saber cómo se llega a ella porque el camino no se basa en reglas.

Son sistemas complejísimos y eficientes, capaces de aprender, más o menos de la misma forma en que los niños aprenden de los padres. Pero en este caso los "padres" son los programadores del sistema. Los niños aprenden de los padres y de otras personas con criterio; y a su tiempo desarrollan el propio.

Los sistemas neurales ni son autónomos ni disponen de algún contexto social que les permita evaluar los que les han "enseñado"; "aprenden" a diferenciar el mal y el bien a partir del pequeño grupo de programadores que les "enseñan". Un sistema de red neural, sin importar que tan poderoso sea, sólo puede trabajar con la información que haya recibido de los programadores y diseñadores. Si esta información no descansa en un fundamento ético, las decisiones tomadas no tendrán ningún punto de referencia ética.

Así pues, parece que se tendrán sistemas que decidirán en asuntos como la distribución de recursos financieros y médicos, si se nos otorga crédito y cuándo, dónde y cómo los bienes serán manufacturados, distribuidos y comercializados y, en litigios matrimoniales, podrían considerar hasta quién tendría la custodia de los niños. Está claro que se depende de un grupo de personas –programadores, diseñadores, ingenieros de sistemas, analistas, ingenieros de mantenimiento y

personal de oficina– que usan los sistemas, los bancos de datos y su integridad personal para establecer los patrones de toma de decisión de los sistemas. Si todo esto no se basa en la ética, la amenaza que se cierne sobre la humanidad es indecible [37].

Esto nos indica que a pesar del poder de la tecnología, es el hombre, y su honestidad, quien debe decidir el rumbo hacia donde se va, que no es tan previsible como se piensa, ni tan oscuro como predicen los modernos luditas, ni tan brillante como sueñan los tecnofanáticos.

Referencias

1. Shannon, Claude and Warren Weaver. *Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, 1949.
2. De Sola Pool, Ithiel. *Tecnología sin fronteras*, Fondo de Cultura Económica, México, 1990.
3. Shallis, Michael. *El ídolo de silicio*, Salvat, Barcelona, 1986.
4. Mazlish, Bruce. *La cuarta discontinuidad. La coevolución de los hombres y las máquinas*, Alianza Universidad, Madrid, 1995.
5. Turing, M. A. "Computing Machinery and Intelligence", *Mind* 59, No. 236, October, 1950, p. 456.
6. Alcalde L., Eduardo y Miguel García L. *Informática básica*, McGraw-Hill, Bogotá, 1994.
7. Orilia, Lawrence S. *Los computadores y la información*, McGraw-Hill, México, 1997.
8. Carlyle, Thomas. *Sartor Resartus*, Alianza, Madrid, 1976.
9. Philip Morrison and Emily Morrison. *Charles Babbage and his Calculating Engines*, Dover, New York, 1961.
10. Moseley, Maboth. *Irascible Genius: The Life of Charles Babbage*, Henry Regnery Co, Chicago, 1964, p. 65.
11. Mazlish, Bruce. *Op. cit.*
12. Samper Ospina, Juanita. "Primer computador, gran enigma", *El Tiempo*, Bogotá, 30 de octubre, 2000, pp. 3-7.
13. Squire, Enid. *La computadora*, Fondo Educativo Interamericano, México, 1987.
14. Williams, Trevor. *Historia de la Tecnología*, Siglo XXI, México, 1998.

15. Aristizábal Fernández, Jesús. "El avance de la humanidad a través de los hitos tecnológicos", *Innovación y Ciencia*, Vol. V, No. 2, 1996, p. 55.
16. "Computer Science", *The New Encyclopaedia Britannica*, Vol. 16, Macropaedia, Chicago, 1993, p. 629.
17. Prieto E. A., A. Lloris R. y J. C. Torres C. *Introducción a la informática*, McGraw-Hill, Madrid, 1989.
18. González, Avelino J. and Douglas D. Dankel. *The Engineering of Knowledge Based Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
19. Winston, Patrick H. *Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, Reading, 1989.
20. Radlow, James. *Informática: las computadoras en la sociedad*, McGraw-Hill, México, 1988.
21. Hinestrosa G., Leocadia y Jorge H. Pizarro D. *Impacto social de la automatización*, Especialización en Automatización Industrial, Universidad de Antioquia, Medellín, 1998.
22. Barrientos, Antonio, et al. *Fundamentos de robótica*, McGraw-Hill, Madrid, 1998.
23. Zeldman, Maurice I. *What Every Engineer Should Know About Robots*, Marcel Dekker, New York, 1984.
24. Klafer, Richard D. *Robotic Engineering. An integral approach*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1998.
25. Almássy, N. and E. Vinkhuzen. "Evolution Adaptive Behavior in Dynamic Environments", *Intelligente Automation and Soft Computing*, TSI Press, Albuquerque, 1994, p. 419.
26. Leiner, Barry M. "A Brief History of Internet", <http://info.isoc.org/internet-history/>.
27. Harvey, Fiona. "The Internet in your Hands", In: *Scientific American*, October, 2000, p. 30.
28. Dsertouzos, Michael L. "The Future of Computing", In: *Scientific American*, August, 1999, p. 36.
29. Prabhu, K. "¿Es Internet realmente algo nuevo?" en: *Revista de Telecomunicaciones de Alcatel*, 3er trimestre 1999, p. 173.
30. Panos Institute. "Temores y esperanzas del futuro electrónico", *El Viejo Topo*, No. 97, junio-julio, 1996, p. 37.
31. Woolgar, Steve. *Ciencia: abriendo la caja negra*, Anthropos, Barcelona, 1991, p. 157.
32. Menser, Michael y Stanley Arowitz. "Sobre los estudios culturales, ciencia y tecnología", En: *Tecnociencia y cibercultura*, Arowitz, Stanley et al. (eds.), Paidós, Barcelona, 1998, p. 21.
33. Xibillé Muntaner, Jaime. "La cultura tele y la invasión de los simulacros", *II Seminario sobre formación humanista*, U.P.B., Medellín, 1998.
34. Mercier, P. A., F. Plassard y V. Scardigli. *La sociedad digital*, Ariel, Barcelona, 1995.
35. Kalbahn, Uwe, Fritz Krüzkeberg y Jürgen Reese. *Las repercusiones sociales de la tecnología informática*, Tecnos, Madrid, 1993.
36. Robinett, J. "Ética y ordenadores por dentro y por fuera", *Antropos*, No. 94-95, marzo-abril, 1989, p. 114.
37. Orwell, George, 1984, Espasa, Barcelona, 1974.
38. Valencia, Asdrúbal. *Sobre tecnología y sociedad*, CESET - U. de A., Medellín, 1997.

INSTRUCCIONES PARA QUIENES DESEEN PUBLICAR ARTÍCULOS EN LA REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Presentar, en español, trabajos inéditos.
2. Los artículos no deben exceder de veinticinco páginas en tamaño carta y a doble espacio.
3. Se debe acompañar el artículo con un resumen, abstract, no mayor de quince renglones, en español e inglés, y una lista de palabras clave.
4. Se solicita la colaboración de los autores para la ambientación del artículo, mediante el aporte de fotografías e ilustraciones para acompañarlo, y la indicación de los cuerpos de texto que deban resaltarse.
5. Informar los datos del autor: nombre, número de fax o correo electrónico, nombre de la institución donde labora y cargo o función que desempeña, para el reconocimiento de los créditos respectivos.
6. Entregar una copia impresa del artículo, digitado en Word 6 o superior, y el disquete correspondiente debidamente marcado.
7. Instrucciones especiales para la digitación:
 - a) El texto debe digitarse sin formato, en letra Times New Roman de 12 puntos.
 - b) Los párrafos se alinean a la izquierda, sin justificación, sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras.
 - c) No dejar más de un espacio entre palabras; después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto y seguido, se debe dejar un solo espacio.
 - d) No incluir saltos de pagina o finales de sección.
 - e) Los guiones tipográficos deben ser largos y tocar la palabra adjunta: —, pero el que se usa entre palabras y números es el del teclado, y sin dejar espacios, ejemplo: físico-químico, 1999-2000.
 - f) Los títulos se digitán como un párrafo cualquiera, antecediéndolos de los símbolos #0, #1, #2, de acuerdo con su nivel jerárquico; el #0 es para el de mayor importancia.
 - g) Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en letra Times New Roman de 12 puntos.
 - h) Los símbolos de las constantes, variables y funciones, en letras latinas o griegas, incluidos en las ecuaciones, deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva.
 - i) Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino usar letra cursiva.
 - j) Los pies de las figuras se digitán como un párrafo ordinario.
 - k) No se presentan cuadros sino tablas y éstas no incluyen formatos.
 - l) Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto; y los millares y millones con un punto.
 - m) Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional, SI.
 - n) No usar colores ni en gráficos ni en figuras.

8. Las citas, referencias bibliográficas y hemerografías se incluyen al final del artículo, en la siguiente forma:
 - a. Las referencias bibliográficas y notas deben numerarse en forma ascendente, de acuerdo con su aparición en el texto, e incluir el apellido y el nombre del autor, el título de la obra en cursiva, el lugar de edición, la editorial, el año de edición y las páginas de referencia. Ejemplo:
 1. Foucault, Michael. *Un diálogo sobre el poder*. Madrid. Alianza. 1981. p. 135.
 - b. Presentar las referencias hemerográficas en el siguiente orden: el apellido y el nombre del autor, el título del artículo entre comillas, el nombre de la revista o periódico en cursiva, el volumen, el número, el lugar de edición, la fecha de publicación y las páginas de referencia. Ejemplo:
 2. Salcedo, Salomón. "Política agrícola y maíz en México: hacia el libre comercio norteamericano". En: *Comercio Exterior*. Vol. 43. No. 4. México D. F. Abril, 1993.
 - c. En caso de que las referencias bibliográficas o las hemerográficas tengan más de dos autores, se debe usar la forma siguiente: el nombre del autor que aparezca en la publicación en primer lugar, seguido de la expresión *et al.* (que significa "y otros") en cursiva y se continúa con los datos ya explicados para la bibliografía y la hemerografía.
 - d. En caso se una referencia tomada de Internet se debe escribir el nombre del URL del sitio.
 - e. El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, mediante un número entre corchetes, al nivel del texto y separado de la palabra anterior por un espacio. En la misma forma se enumeran, al final, las referencias o bibliografías.
9. Evitar las notas de pie de página; en caso de que sean muy necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.
10. Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis, y en lo subsecuente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.
11. Por tratarse de una publicación con arbitraje, la revista recibe, revisa y envía los trabajos al Comité Editorial, el cual aprueba su publicación con base en el concepto de pares evaluadores especializados
12. Los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.
12. Como derechos de autor se reconocen tres ejemplares de la revista, que se envían a cada autor.
14. Favor enviar la colaboración a:

Revista Facultad de Ingeniería
Universidad de Antioquia
Ciudad Universitaria, Bloque 18, oficina 141
Teléfonos: 210 55 43 – 210 55 74
e-mail: revista.ingenieria@udea.edu.co

CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

NUESTRO PROPÓSITO

Propiciar que los recursos materiales de la Facultad y el talento de sus integrantes sirvieran para la elevación del nivel académico de la enseñanza impartida a los estudiantes, mediante la vinculación de los programas docentes e investigativos de la Facultad a problemas reales de la comunidad.

Brindar educación permanente, actualización y proyección a la comunidad mediante la organización de cursos, seminarios, foros, talleres y otras actividades que respondan a las necesidades de actualización, asesoría y consultoría de los profesionales e instituciones.

GRUPO SIGMA

Este grupo interdisciplinario, tabaja el área de proyectos, cultura informática, que tiene por objeto la gestión del cambio cultural que ocasiona en las empresas el aprendizaje y el trabajo con nuevas tecnologías de la información. Son proyectos que enraizan el aprendizaje en la cultura organizacional, crean, desarrollan, evalúan y mejoran las estrategias pedagógicas y de gestión y producen los medios didácticos integrados para lograr el aprendizaje. En este contexto se ha realizado la formación de usuarios de sistemas de información geográfica y para Medellín y sus alrededores, SIGMA de las EE.PP.MM. Y la formación de coordinadores de equipo como tutores, en la misma empresa.

GRUPO ISO

Misión

Promover y difundir por medio de las líneas de capacitación, asesoría e investigación el conocimiento y aplicación de los estándares internacionales ISO relacionados con la gestión de la calidad y con los sistemas de gestión ambiental.

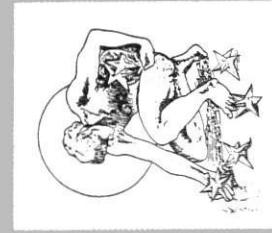
Visión

En el 2002 el grupo regional ISO habrá desarrollado todas sus líneas de trabajo cubriendo el departamento de Antioquia y el Eje Cafetero. Será reconocido en Colombia y por la ISO como grupo de investigación jalonador de una reda nacional de calidad y gestión ambiental y como miembro activo y dinamizador de los comités técnicos donde desarrolla su misión.

**CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES
Y DE INGENIERÍA
CENTRO EXCELENCIA
CONVOCATORIA 2000 COLCIENCIAS
PARA GRUPOS Y CENTROS**

SERVICIOS EN INVESTIGACIÓN, ASESORÍA Y CONSULTORÍA

- Sistema de información geográfica
- Control de calidad de aguas
- Manejo de residuos sólidos
- Estudios de suelos
- Planes de manejo ambiental
- Ordenamiento territorial
- Estudios de declaración de impacto ambiental
- Servicios de laboratorio
- Estudios de optimización de procesos, ahorro de energía y reutilización de desechos



**CIUDAD UNIVERSITARIA, Calle 67 No. 53-108
Facultad de Ingeniería - Bloque 21, oficinas 103-105
Teléfonos 210 55 10, 210 55 09. Fax 211 90 28
e-mail: cia@jaibana.udea.edu.co**



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Se terminó de imprimir
en la Imprenta Universidad de Antioquia
en el mes de julio de 2001